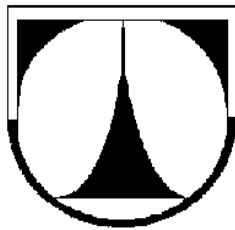


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

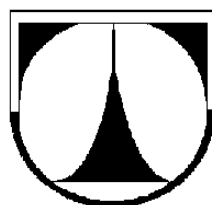
2008

Hana Lisová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra energetických zařízení



Hana LISOVÁ

Návrh a konstrukce tažné nádrže

(Design and construction of Towing tank)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Vít, PhD.

Konzultant diplomové práce: Ing. Petra Dančová

Rozsah práce:

Počet stran: 60

Počet obrázků: 30

Počet tabulek: 3

Počet grafů: 0

Počet příloh: 8

Liberec 2008

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 21. 1. 2008

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purpose of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 21. 1. 2008

Signature

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí tažné nádrže, ve které je možno sledovat obtékání těles. V této práci je proveden návrh celé konstrukce a její namáhání při maximálním naplnění nádrže. V příloze je dodána výkresová dokumentace celé konstrukce, výkres sestavy rámu a konstrukce pojezdu. Výpočty namáhání konstrukce byly provedeny v programu MSC. Marc and Marc Mentat. Dále obsahuje různé typy nádrží, které jsou sestavené v jiných státech.

Annotation

This graduation thesis deals with construction of towing tank where is possible to follow circumfluence of parts. The design is made all of this construction and its strain at maximal stress at this work. Maximal stress is made at maximum impletion of tank. At the insertion the drawing documentation is added whole construction, assembly drawing of frame and construction of towing carriage. The computing of strain construction was computed at program MSC. Marc and Marc Mentat. It contains futher a variety of type tanks which are built-up in anothers states.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Vítovi, který mi umožnil toto téma zrealizovat a vytknout některá uspořádání. Dále děkuji vedoucímu katedry a děkanovi strojní fakulty za poskytnutí finančních prostředků pro zrealizování experimentálního zařízení. Můj velký dík patří všem firmám, které mi byli nápomocny a vyhověly mým požadavkům, také i řemeslník naší katedry pan Kneř, který mi vyšel vstříc při úpravě přiček a podobných pracích. Děkuji především třem kamarádům Janu Bryndovi, Jiřímu Hruškovi a Petru Švarcovi, kteří mi pomáhali s montáží a byli mi vždy nápomocní. Tímto chci také poděkovat celé mé rodině za velkou podporu.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	- 8 -
1. Úvod	- 11 -
1.1 Schéma zapojení	- 12 -
1.2 Tažné nádrže v zahraničí	- 13 -
1.2.1 Velké tažné nádrže	- 13 -
1.2.2 Malé tažné nádrže	- 16 -
2. Princip tažné nádrže	- 19 -
2.1. Obtékání těles	- 19 -
2.1.1. Mezní vrstva	- 20 -
2.1.2. Vliv teploty na obtékání těles	- 21 -
2.2. Experimenty prováděné v Tažných nádržích	- 22 -
2.3 Stopovací částice	- 23 -
3. Konstrukce tažné nádrže	- 25 -
3.1. Rám zkušebního zařízení	- 25 -
3.2. Skleněná část	- 28 -
3.3. Pojezd sledovaného předmětu	- 31 -
3.3.1 Lineární vedení	- 31 -
3.3.2 Elektromotor	- 33 -
3.3.3 Konstrukce pojezdu	- 35 -
4. Výpočtová část	- 37 -
4.1 Pevnostní výpočet rámu a skel	- 37 -
4.2 Konstrukce pojezdu	- 39 -
4.2.1 Výpočet reakcí na rámu	- 39 -

4.2.2	Výpočet vnitřních statických účinků (VSÚ)	- 41 -
4.3	Dynamika pojezdu	- 45 -
5.	Úprava vody	- 48 -
5.1	Chemická úprava vody	- 49 -
5.1.1	Chlorování vody	- 49 -
5.1.2	Aktivním kyslíkem	- 50 -
5.1.3	Multifunkční prostředky	- 50 -
5.2	Mechanické odstraňování nečistot	- 51 -
5.2.1	Filtr s aktivním uhlím	- 51 -
5.2.2	Písková filtrace	- 52 -
5.2.3	Sítový filtr	- 53 -
6.	Finance	- 54 -
7.	Závěr	- 57 -
	Použitá literatura	- 59 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Význam
<i>Standardní symboly</i>		
A_i	[N]	Akční síly
a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení, zpomalení pojezdu
a	[m]	Vzdálenost sledovaného předmětu v rovině yz
b	[m]	Vzdálenost sledovací kamery v rovině yz
c	[m]	Vzdálenost sledovaného předmětu v rovině xz
D	[N]	d'Alembertova síla
F_{A0}	[N]	Akční síla pohybující pojezdem
F_K	[N]	Síla od sledovací kamery
F_P	[N]	Síla od sledovaného předmětu
F_i	[N]	Statické síly
f_0	[1]	Součinitel tření za klidu
G	[N]	Gravitační síla
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
J_z	$[kg \cdot m^2]$	Kvadratický moment řemenice
l	[m]	Charakteristická délka
l	[m]	Šířka pojezdu
$M_{K_{yz}}$	[Nm]	Moment od sledovací kamery v rovině YZ
$M_{P_{xz}}$	[Nm]	Moment od sledovaného předmětu v rovině YZ
$M_{P_{yz}}$	[Nm]	Moment od sledovaného předmětu v rovině YZ
M_m	[Nm]	Krouticí moment na motoru
M_{omax}	[Nm]	Maximální ohybový moment
$M_1(x)$	[Nm]	Vnitřní ohybový moment 1 ve vzdálenosti x
$M_2(x)$	[Nm]	Vnitřní ohybový moment 2 ve vzdálenosti x
m	[kg]	Celková hmotnost pojezdu
m_K	[kg]	Hmotnost sledovací kamery

m_p	[kg]	Hmotnost sledovaného předmětu
m_f	[kg]	Hmotnost řemenice
N	[N]	Normálová síla
R		Polohový vektor
R_A	[N]	Reakce v podpoře A
R_B	[N]	Reakce v podpoře B
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
Ri_D	[-]	Richardsnovo číslo
R_j	[N]	Reakční síly
T	[N]	Třecí síla
$T_1(x)$	[N]	Vnitřní posouvající síla 1 ve vzdálenosti x
$T_2(x)$	[N]	Vnitřní posouvající síla 2 ve vzdálenosti x
t	[s]	Čas
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost pojezdu
W_o	[m ³]	Průřezový modul v ohybu
w	[m·s ⁻¹]	Rychlost

Řecká abeceda

α	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení
μ	[Pa·s]	Dynamická viskozita tekutiny
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota kapaliny
ρ_{vody}	[kg s ⁻¹]	Hustota vody
σ_{Do}	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
σ_o	[MPa]	Napětí v ohybu
ν	[m ² ·s ⁻¹]	Kinematická viskozita tekutiny

Zkratky

CTA	„Constant Temperature Anemometry“
LDA	„Laser Doppler Anemometry“ – metoda laserové anemometrie
LDV	„Laser Doppler Velocimetry“
PIV	„Particle Image Velocimetry“
PTV	„Particle Tracing Velocimetry“
SPIV	„Spekroskopický PIV“

1. Úvod

Tažná nádrž slouží ke sledování proudění či obtékání malých těles. Těleso je taženo podél celé délky nádrže za pomoci tažného zařízení. Rychlost tažného zařízení je $v = 0 - 10 \text{ cm s}^{-1}$. Tažné zařízení je zhotoveno pomocí lineárního vedení, které je po obou stranách nádrže. Pohyb se uskutečňuje pomocí ozubeného řemene, na který jsou připevněné ložiskové jednotky. Každá strana vedení má svůj ozubený řemen. Podrobný popis tohoto lineárního vedení s ozubeným řemenem je uveden v kapitole 3.3.1. Pro synchronizaci obou dvou vedení je zapotřebí propojení pomocí tyče. Na konci lineárního vedení je adaptační hřídel a následně adaptační příruba, přes kterou je napojený motor. Obě vedení jsou spojená pojezdem, na kterém je připevněn tažený předmět a snímací kamera (může být i laser).

Tažná nádrž je složená z hliníkové konstrukce a samonosného skla. Skleněná část nádrže má vnější rozměry 5500x1000x1000 mm. Skla, dlouhá 5500 mm jsou slepená ze dvou skel o délce 2750 mm. Tato skla dodala firma Brilant. Skla jsou samonosná, měla by vydržet tuto váhu vody, která v nádrži bude. Skleněná část nádrže má dvojité skla o tloušťce 15 mm a uprostřed je 2 mm bezpečnostní folie.

Tuhý rám tvoří hliníkové profily, které jsou spojené různými přípravky. Velikost profilů je dána zatížením. Veškeré tyto profily dodala firma Ulmer, společně i se spojovacími prvky a dalšími částmi, které jsou pro sestavení potřebné. Konstrukce tažné nádrže je upravena tak, aby bylo možné v ní sledovat obtékání tělesa, hlavně v prostřední části. V této části nádrže se očekává rovnoměrná rychlost. Nebudou zde vlivy zrychlení či zpomalení pojezdu.

Celé tažné zařízení je smontováno na místě, v laboratoři LDA. Jeden z důvodů tohoto umístění nádrže je, že je zde laser potřebný pro měření rychlostního pole a sledování obtékání tělesa. Konstrukční uspořádání je řešeno pro tuto laboratoř. Ze stavebních důvodů je délka celé nádrže 5620 mm namísto původních 6160 mm. Šířka LDA laboratoře je 6180 mm od stěny k topení. Z tohoto

důvodu jsem musela nádrž zkrátit na zmíněných 5620 mm kvůli potřebnému prostoru pro manipulaci při sestrojení konstrukce.

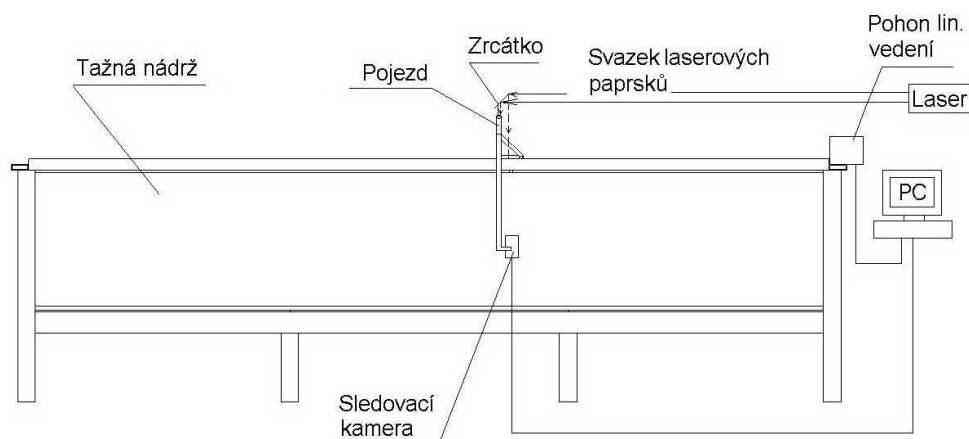
Vhledem k velkému zatížení podlahy LDA laboratoře, okolo 5-6 tun, byl vyžádán posudek od statika, který je přiložen v příloze č. 1.

Měřicí zařízení a snímací kamera, které jsou výškově stavitelné, jsou upnuty na pojezdu. Snímky jsou ukládány na paměťovou kartu sledovací kamery a po měření jsou transportovány do počítače. V počítači je software na řízení rychlosti pojezdu a také na ukládání fotografií z měření. Jako jediný mimo pojezd je zapojený laser, který má svůj vlastní zdroj. Druhou variantou je, že stejně jako snímací kamera, je i laser upnutý na pojezdu, avšak v rovině kolmé na snímací rovinu. Ze snímací kamery jsou poté snímky transportovány do počítačové stanice. U této varianty je konstrukce pojezdu více zatížena. Dále mohou být na pojezdu napojené sondy na měření teploty v nádrži. Pro připojení předmětu, který bude vyhříván, je zapotřebí nerezové ocelové trubky. Jejím vnitřkem bude vedený žhavicí drát, který zajistí ohřívání předmětu. Toto bude dále rozebráno v kapitole 3.

Pro měření a sledování toku lze použít metodu LDA (Laser Doppler Anemometry), či metodu PIV (Particle Image Velocimetry). Jako další možnosti pro sledování daného jevu mohou být použity metody vizualizace či CTA – metoda žhaveného drátku. Tyto metody měření jsou součástí kapitoly 2.2 Experimenty prováděné v Tažných nádržích.

1.1 Schéma zapojení

Na obr. 1-1 je znázorněné schéma propojení tažné nádrže s počítačem, laserem a kamerou. Elektromotor je propojen s počítačem pomocí datových kabelů. Změnou frekvence motoru, která se mění frekvenčním měničem, se mění velikost jeho otáček a tudíž i rychlost pojezdu. (Pro lepší řízení polohy pojezdu a jeho rovnoměrnou rychlost, která je nastavitelná v programu pro řízení tohoto motoru). Zapojení laseru je samostatné, avšak zde je uvedené. Laser může být ustavený mimo tažnou nádrž nebo přímo na pojezdu.



Obr. 1-1. Schéma propojení tažné nádrže, lineárního pojezdu a sledovací kamery s počítačem. Za sledovací kamerou je pozorovaný předmět.

Snímací kamera je upevněná na konstrukci pojezdu, kde sleduje obtékání tělesa. Snímací kamera a laser by neměly být v jedné rovině. Jejich vzájemná poloha by měla být 90° tak, aby snímací kamera mohla snímat laserové záblesky.

1.2 Tažné nádrže v zahraničí

Ve světě je několik tažných nádrží, které jsou určeny pro různé výzkumy. Jejich rozměry se liší podle účelu použití. Instituce zabývající se tímto výzkumem spadají většinou pod Oceánovou technologii a národní výzkum. Ve výzkumném centru dosahují tyto nádrže velikosti desítky až stovky metrů. Slouží pro simulaci plavby lodí po moři, jejich konstrukci a vliv mořských vln na ně.

1.2.1 Velké tažné nádrže

Jejich velikost se pohybuje v desítkách až stovkách metrů. Slouží většinou pro výzkum lodí, lodních šroubů a vlivu jejich pohybu na vodu.

- a) Přímořský výzkumný institut Nizozemí – hlubokovodní (oceánská) tažná nádrž (252 x 10,5 x 5,5m) je užívána k optimalizaci odolnosti a pohonů, které jsou charakteristické pro lodní návrhy. Aby bylo možno posoudit možná výkonová zlepšení, je nádrž vybavena funkcemi pro měření různých vlnových a proudových charakteristik. V dodatku standardní odolnosti a pohonných testů kormidla nebo úhel gondoly, poloha gondoly a pohon v

směru otáčení může být optimalizovaný. Maximální rychlost pojezdu je 9m/s.



Obr. 1-2.1.1 Hluboká tažná nádrž Nizozemí – přímořský výzkumný institut [1]

Mezi druhy testování patří: Rezistenční a samostatné pohonné testy v klidné vodě. Poháněné/tunelové pohonné testy v otevřeném měření 3-D úplavu. Měření hydrodynamických sil a momentů na ponořených tělech, doplňků atd. Experimenty vertikální / horizontální rovinný pohyb, Jachetní testy, Měření síly na nestabilní lodní list [1].

- b) CEHIPAR – Španělsko, (Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo = Kanál hydraulických experimentů v El Pardo). Je to nezávislé veřejné centrum pro výzkum, technologický rozvoj a technický servis. Jejich tažná nádrž s klidnou vodou má rozměry 320 metrů na délku, 12,5 metrů na šířku a hloubku 6,5 metrů. Tažný vozík dosahuje rychlosti až $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a maximálního zrychlení $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Jeho řídicí software automaticky stanovuje rychlostní profil použitý v testech. Jeho specifikace a vybavení jsou navrhovány pro různé typy testů. Následující testy jsou nejvíce používané: Odporové testy, pohonné testy, měření úplavu, proudnicový test, Testy na otevřeném moři [2].
- c) Mořské poradenské centrum v St. John's, Newfoundland, Kanada – poskytuje komerční služby v oblasti posuzování výkonu v námořních (lodních) podmínkách pro mezinárodní trh. Firma se specializuje na fyzikální a numerické modelování a testování návrhů lodí, struktury na volném moři a jiné námořní systémy. Servisy včetně: seakeeping

analýzy, vyhodnocování síly odporu a pohonu, testy vizualizace proudu, numerické simulace a ostatní související servis.

Spolupracuje s Institutem pro oceánovou technologii a Memorial University of Newfoundland. Vybavení je včetně tažné nádrže o délce 200 metrů a 58 metrů. 90 metrů Ice/towing tank [3].

"200 Meter Towing Tank" má celých 200 metrů délky pro vlečení modelu a umožňuje získávat data o síle odporu a pohonu, měření úplavu, vizualizace proudu a jiné lodní testy. Jejich tažný vozík má maximální rychlost $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a modulový test přístrojů povoluje rychlejší instalaci a spojení mezi modelem a pojezdem. Dvojitá klapka vlnotvorného zařízení může generovat pravidelné vlny až do výšky jednoho metru, stejně tak dobře i nepravidelné vlny. Vlnová výška se může měnit v rozmezí 0,5 až 40 -ti metry, na opačném konci brání parabolická pláž s vlnovým odrazem. Je zde možné i měření kotevního zatížení a plovoucích struktur. Za pomoci dynamometrů měření sil a momentů s šesti stupni volnosti. Laserové Dopplerovské měření rychlosti LDV (pro neobtěžující měření průtoku) [4].

Nádrž Ice/Towing tank (obr. 1-2.1.2) má délku 90 metrů a je nejdelší na světě. Její velikost umožňuje testovat modely při vyšších rychlostech a po delší dobu, čímž lze získat z každého testu více dat. S šířkou 12 metrů, nádrž dovoluje tři zkušební chody pro každou vrstvu ledu a umožňuje připojení manévrovacích studií, a tím zlepšení rentability testovacího programu. Chlazený jemnozrný sloupec ledu je vyráběný v okujené tloušťce a ohybové pevnosti, pěkné vzduchové bublinky jsou začleněné do vrstvy ledu tak, že plovatelnost ledu je správně modelována. Ledový růst o velikosti $3,5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ může být dosažen v -25°C , s nelimitovanou tloušťkou. Řízení pomocí počítače zajišťuje, že teplota vzduchu je stejná, od -30°C do $+15^{\circ}\text{C}$. Aplikace:

- Testování tažených, zakotvených a modelů se samostatným pohonem v simulaci arktického prostředí.

- Testování modelů lodí délky 2 metry až 12 metrů.
- Testování struktur na volném moři v průměru 0,5m až 0,4m [5].



Obr. 1-2.1.2 Ice/Towing tank [5]

1.2.2 Malé tažné nádrže

Tyto nádrže se konstruují kolem délek 5-10 metrů. Jejich rychlost je poměrně nízká.

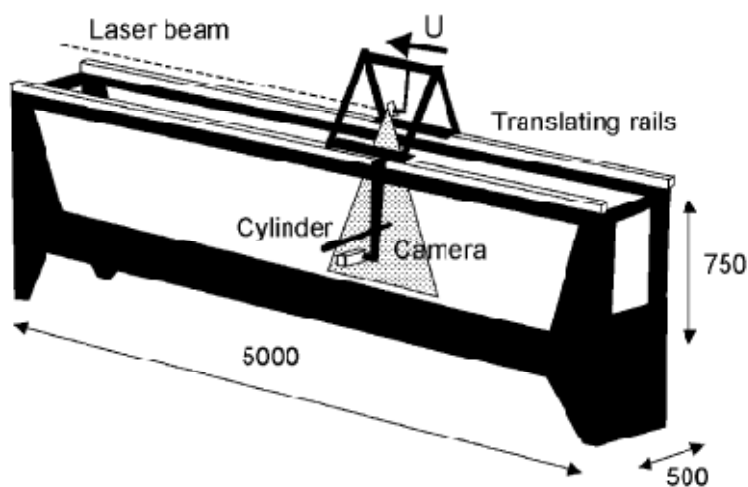
- a) Univerzita v Iowě IIHR – Hydrosience and Engineering má zde nízkorychlostní tažnou nádrž. Její rychlost se pohybuje v rozmezí od 0,5 – 5 cm/s. Zdi a dno jsou zhotovené z čírého skla. Příčný rám může pohybovat laserem a kamerou umožňující různé možnosti vizualizace a jiných optických metod měření.



Obr. 1-2.2.1 Tažná nádrž na University of Iowa, College of Engineering [6]

Poslední aplikace tažné nádrže včetně její barevné simulace proudění kolem koule. Jednou možností, kterou se může vizualizovat úplav a vírové odtrhávání struktur, je uvolnění mraku barviva před pomalu pohybující se koulí. Jiným přístupem je použití laseru – indukovaná fluorescence, kde malá množství fluorescenčního barviva jsou přidána do vody. Když je pruh (plocha) laserového světla projektovaná do vody, barvivo světélkuje a vytvoří obrázek, který je fotografován a analyzován. [6]

- b) Univerzita v Eindhovenu - délka nádrže 5m a její průřez 0,5m x 0,75m. Sledují se v ní malé rychlosti 0-2 cm/s, odpovídajícím Reynoldsově číslu v intervalu $Re = 0 - 90$, při kterých se pohybuje váleček o průměru 4,5mm. Zde je zkoumán vliv teploty válce na obtékaný proud. Žhavením drátku uvnitř válce se vyvolá změna jeho teploty. V závislosti na této teplotě se mění průběh obtékání válce. [7]



Obr. 1-2.2.2 Tažná nádrž v Eindhovenu – Měřicí zařízení [7]

- c) Universita v Saskatchewan – jejich tažná nádrž se používá pro podporu základního a aplikovaného výzkumu v nestabilní mechanice tekutin a interakce tekutinových struktur. Je zobrazená na obr. 1-2.2.3. Hlavní měřicí systémy vhodné v jejich laboratoři jsou smluvní particle image velocimetry (PIV) systém a stereoskopický particle image velocimetry (SPIV) systém. Tažná nádrž je experimentální

zařízení široce používané k návrhu a testování lodí a struktur na volných hladinách. Malé rozměry tažných nádrží jsou užitečné pro experimenty nestabilní mechaniky tekutin. Dále jsou vhodné ke studiu nízkých Reynoldsových čísel (nízká rychlost toků) a laminárních toků. Prostředí tažné nádrže má efektivně nulovou intenzitu turbulence volného proudu a je ideální pro vizualizaci toku a experimenty PIV. Při experimentu pomocí metody SPIV je voda v tažné nádrži pro experiment naočkovaná dutými skleněnými kuličkami, o velikosti 8 – 12 mikrometrů. [8]



Obr. 1-2.2.3 Tažná nádrž na Univerzitě v Saskatchewan [8]

2. *Princip tažné nádrže*

Principem tažné nádrže je, jak již bylo v úvodu zmíněno, sledování a simulace obtékání předmětu. Tato tažná nádrž by se dala zařadit mezi skupinu zařízení, která jsou statická vzhledem k okolí. Pokud bychom mohli rozdělit možnosti sledování obtékání těles, dalo by se to rozdělit do dvou skupin:

- a) Pohybuje se sledovaný předmět a tekutina stojí
- b) Pohybuje se tekutina a sledovaný předmět je stabilní

Většinou byla dělána experimentální zařízení, ve kterých se pohybovalo médium. Médium či tekutinou může být vzduch nebo voda, popřípadě i jiná kapalina. V tažné nádrži se pohybuje sledovaný předmět. Na základě měření z této nádrže se dají porovnat výsledky s měřením, kdy se pohybovala tekutina. Pravděpodobně se zde budou vyskytovat odlišnosti mezi jednotlivými způsoby měření. Důvodem bude nejspíše upínací a tažný element předmětu.

2.1. *Obtékání těles*

Teorie obtékání těles vychází z Reynoldsova čísla, které je svázáno s rychlostí pohybujícího se předmětu či tekutiny, dané vztahem

$$Re = \frac{w \cdot \rho}{\mu} = \frac{w \cdot l}{\nu} \quad (1)$$

kde w – rychlost proudící tekutiny

l – charakteristický rozměr předmětu či potrubí

ν - kinematická viskozita

Toto podobnostní číslo upravuje závislost mezi silami třecími a setrvačnými. Při $Re \ll 1$ převládají třecí síly. Při $Re \gg 1$ převládají naopak síly setrvačné. Při vzrůstající viskozitě se zmenšuje podobnostní Re číslo.

Podle různých rozmezí Re čísel můžeme proudění na 3 oblasti:

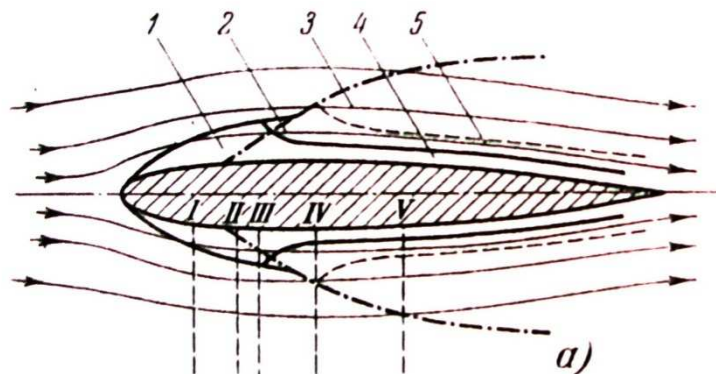
- a) $Re < 2300$ – Laminární proudění
- b) $2300 < Re < 10^4$ – Přechodové proudění
- c) $Re > 10^4$ – Turbulentní proudění

Při obtékání těles vznikají různé druhy vírů a úplavů. Na jejich tvar má vliv i teplota obtékaného předmětu. Při její změně lze pozorovat změnu vírové stezky, která se tvoří za obtékaným válcem. Při obtékání válce se víry střídavě odtrhávají od spodní poloviny a horní poloviny válce. Při větším zahřátí dominovalo odtrhávání vírů v horní polovině válce [7]. Další významný vliv na obtékání válce má viskozita kapaliny.

2.1.1. Mezní vrstva

Ve velmi těsné blízkosti k povrchu obtékaného tělesa se vytváří mezní vrstva. Tato oblast má ve směru kolmém k povrchu tělesa malou šířku ve srovnání s délkou. Mimo mezní vrstvy je víření proudu zanedbatelné a na základě toho lze proud považovat za potenciální. V mezní vrstvě se rychlost proudění mění od nuly, v místě povrchu tělesa, do rychlosti potenciálního proudu na vnější hranici této vrstvy. Jelikož je tloušťka mezní vrstvy malá, dosahují gradienty rychlosti v této oblasti velkých hodnot, a proud je zde značně vířivý [9].

Rozložení rychlosti v mezní vrstvě se nejlépe znázorní na rovině stěně, které je uvedený na obrázku 2-1.1.



Obr. 2-1.1 Schéma mezní vrstvy na povrchu profilu křídla: a – změna tloušťky a struktury mezní vrstvy podél povrchu profilu: 1 – laminární část vrstvy; 2 – přechodová oblast; 3 – turbulentní část vrstvy; 4 – laminární podvrstva; 5 – přechodová vrstva [9].

Uvnitř mezní vrstvy v blízkosti stěny je potvrzené rozložení rychlosti. Rychlost v mezní vrstvě se mění od nuly v místě stěny a tedy určitý úsek mezní vrstvy, který těsně přiléhá ke stěně, bude vždy laminární. Tento úsek se nazývá laminární podvrstva.

Přední část mezní vrstvy, která je v blízkosti náběžné hrany profilu, je obvykle laminární. V další části náběžné hrany, průřez II, je laminární rychlostní profil. V nějakém průřezu III nastává přechodová oblast, kde dochází k přechodu laminárního uspořádaného pohybu do pohybu turbulentního. Za přechodovou oblastí navazuje stabilní turbulentní vrstva. Tato vrstva má plnější rychlostní profil [9].

2.1.2. Vliv teploty na obtékání těles

Proudové pole v blízkosti sledovaného předmětu ovlivňuje kromě rychlosti také změna teplotního pole. Nejčastěji se tento vliv znázorňuje na vyhřívaném válci, u kterého se sleduje změna mezní vrstvy a úplavu za ním. Teplotní mezní vrstva je u stěny tělesa či desky nejmenší a stoupá do určité tloušťky. Její profil je velmi podobný rychlostní mezní vrstvě.

2.2. Experimenty prováděné v Tažných nádržích

Jak již bylo výše zmíněno, experimenty, které se dají provádět v Tažných nádržích, jsou různého typu. Druhy experimentů se liší podle velikosti Tažných nádrží. Od malých nádrží, ve kterých se sleduje obtékání těles a vliv teploty na tvorbu vírových struktur za ohříváním válce, až po velké nádrže, jež slouží k simulaci vlivu lodních šroubů na okolní volnou hladinu a ke zjišťování odporových a pohonných sil. Dále se zabývají studiem nízkých Reynoldsových čísel (nízká rychlost) toků a laminárních toků.

Univerzita v Eindhoven prováděla experiment, kde sledovali tvorbu vírových struktur za ohříváním válce. Žhavením drátku uvnitř válce se vyvolala změna teploty, na níž se v závislosti měnil průběh obtékání válce, více je vysvětlené v [7]. Experiment se týkal odtrhávání víru za ohříváním válce ve vodě a vzduchu. První experimentální krok souvisel s úpravou paralelního režimu odtrhávání víru, byl vykonaný užitím vizualizace proudu ve vodě. Následující metoda žhavení drátku ve vodě byla použita pro získání St-Re dat. Bylo potvrzeno, že frekvence odtrhávání víru se mění s teplotním gradientem v mezní vrstvě. Bylo nalezeno, že válci ohřívánému ve vodě vzrůstá frekvence (tepelný účinek ve vodě). Tento vzrůst byl změřitelný dokonce pro relativně malé teplotní difference $\Delta T = T_w - T_\infty$ [7].

Další experiment, který se v této tažné nádrži prováděl, bylo sledování režimu úplavu za ohříváním vodorovným válce, podrobnosti o této nádrži jsou v Kieft [10]. Zde bylo vyšetřované chování vírových struktur šířících se od ohříváného válce experimentálním způsobem za pomoci metody, která je založena na sledování rychlosti (stopovacích) částic (2-D Particle Tracing Velocimetry). Pro výzkum bylo vybráno podobnostní číslo Re_D 73. Bezrozměrné číslo Ri_D , které představuje relativní význam indukovaného tepla, se mění v rozmezí 0 a 1. Výsledky ukazují, že pro malá čísla Ri_D indukovaného tepla vychází odchýlení vírové stezky v záporném y-novém směru. Ve vírové stezce nastává spojení dvou po sobě jdoucích vírů, kde víry od spodní poloviny válce rotují okolo vírů šířících se z horní poloviny. Rychlost v úplavu byla měřená hlavní PTV metodou. Částice s

nominálním průměrem 100 mikrometrů a hustotou téměř rovnající se hustotě vody, byly osvětlovány v malé světelné vrstvě (kolem tloušťky 5mm) s pomocí 750W xenonového světelného zdroje. Výsledkem bylo analyzování izo-vírových kontur pro různá čísla Re_D . Při vzrůstajícím čísle Re_D se více přesouvali víry k horní polovině válce, detailní popis Kieft [10].

2.3 Stopovací částice

Tyto částice slouží ke stopování proudu. Množství a velikost je daná velikostí sledovaného objektu. Stopovací částice musí splňovat několik kritérií:

- Dobře sledovat proud
- Dobře rozptylovat světlo
- Vhodný způsob generování
- Netoxické
- Nezpůsobovat erozi
- Neměli by být těkavé a vypařovat se
- Homogenní a monodisperzní
- Chemicky netečné - pro účel použití ve vodě, by neměli způsobovat nežádoucí reakce s přípravky, které se používají pro úpravu vody (reakce s chlórem)

Používají se k vyšetřování proudu kapaliny pomocí vizualizace toku, LDA, PIV. Nabízené sledovací částice jsou vhodnými stopaři generovaného světelného rozptylu, vysoké viditelnosti signálu a excelentní patrnost v proudu.

Tyto sledovací částice jsou zhotovené z různých materiálů, podle způsobu jejich použití. Zhotovují se většinou z polyamidu, dále mohou být skleněné. Polyamidové sledovací částičky (PSP) nemusí mít exaktně kulovitý tvar. Tyto mikroporézní částice jsou velmi vhodné pro aplikace vodních toků. Rozměr těchto částíček se pohybuje od 5 až do 50 μm , cena je 150€ [11].

1) FPP – Fluorescenční polymerové částice

Jsou založené na melaminové pryskyřici. Fluorescenční barvivo je homogenně rozloženo po celém objemu částic. V aplikacích s vysokou světelnou úrovní pozadí, fluorescenční sledovací částice mohou zlepšit kvalitu vektoru. Dodávají se jako vodní suspenze, s objemem 100ml a velikostí částecek 1-20 μ m a 20-50 μ m. Cena fluorescenčních sledovacích částic se pohybuje v rozmezí od 1 448€ až 2 870€.

2) HSG – Duté skleněné kuličky

Jsou zhotovené z borosilikátového skla. Mají kulovitý tvar a hladký povrch, prioritně se používají pro aplikace kapalného proudění. Průměr částecek 10 μ m, cena 70€.

3) S-HSG – Postříbřené duté skleněné kuličky

Jsou borosilikátové skleněné částice, s kulovitým tvarem a hladkým povrchem, preferované pro aplikace kapalného proudění. Tenký stříbrný nátěr podporuje zvýšení reflektivity.

Jiným druhem stopovacích částic je plyn. Většinou se používá kouřový generátor, který produkuje drobné kapičky oleje. Tento druh stopovacích částic se používá při vyšetřování vírových struktur vzduchu. Jsou schopné dostatečně dobře sledovat proud. Další možností vizualizace kapalného proudu je pomocí bublinek Héliu [11].

3. Konstrukce tažné nádrže

Tažná nádrž se skládá ze skleněné části a rámu zkušebního zařízení. Další součástí toho zařízení je lineární vedení, na kterém je připevněn pojezd. Připevnění a princip pohybu pojezdu bude rozebrán v další kapitole 3.3. Výkresy celkového sestavení experimentálního zařízení, rámu a konstrukce pojezdu jsou přiloženy a označeny jako příloha 2, 3 či 4. Výpočet tohoto zařízení byl proveden v programu MSC. Marc & MSC. Mentat.

3.1. Rám zkušebního zařízení

Tento rám je zhotovený z hliníkových profilů, která dodala firma Ulmer s.r.o. Výkresová dokumentace rámu je v příloze č. 3. S touto firmou jsem spolupracovala i na další konstrukci, na konstrukci pojezdu.

Rám je umístěný na osmi stojnách, z nichž čtyři rohové jsou průběžné až nahoru k pojezdu. Tyto nohy jsou stavitelné pomocí stavitelných šroubů obr. 3-1.1, aby se mohla konstrukce srovnat do vodorovné polohy. Pro snímání rychlostního pole je důležitá vodorovná poloha, aby nedocházelo ke zkreslení pole. Toto pole je snímáno laserem. Na obr. 3-1.2 je vyfotografován zkušební rám ve firmě Ulmer. Další fotografie 3-1.3 je při sestavování rámu v laboratoři. Stavitelné šrouby mají maximální nosnost 6000kg. Na dalších fotografiích je znázorněná postupná stavba rámu. Tyto fotografie jsou přidány do přílohy č. 5.



Obr. 3-1.1 Noha rámu se stavěcím šroubem



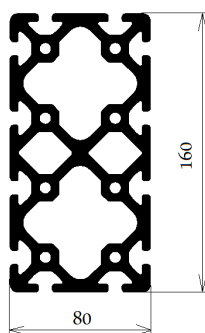
Obr. 3-1.2 Rám zkušebního zařízení (sestavené ve firmě Ulmer)



Obr. 3-1.3 Montáž spodní části rámu v laboratoři LDA

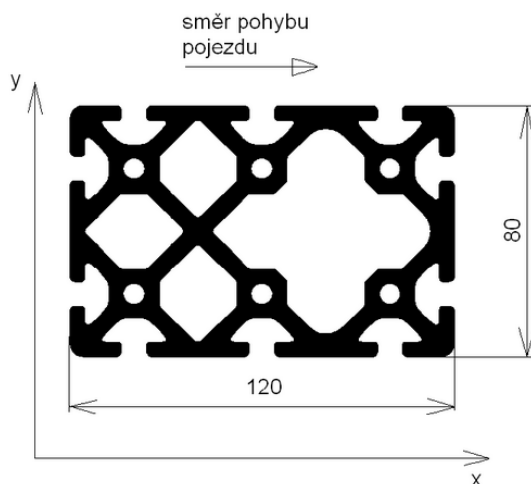
Profily jsou řady 8 (dle katalogu Ulmer), která je nejpevnější z ostatních řad. Na spodní část rámu byly zvoleny profily 160x80mm, jelikož při menších rozměrech se více bortily drážky v profilech. Průřez profilu je orientovaný vyšším

průřezovým modulem na výšku obr. 3-1.4. Při této orientaci má profil největší tuhost a tudíž nejmenší průhyb. Volba tohoto profilu vycházela ze zatížení vodou. Tedy síla, která na profil působí je 55000N. Z katalogu firmy Ulmer jsem zjistila, že právě tento profil je vhodný pro nejmenší průhyb. Na vrchní části rámu jsou profily pouze 80x40mm, aby bylo možné dobře nainstalovat lineární vedení.



Obr. 3-1.4 Orientace profilu rámu konstrukce

Krajní rohové nohy jsou o průřezu 120x40mm a jsou vysoké 1694mm, z konstrukčních důvodů průběžné. U těchto nohou jsou ještě výztuže pomocí dalších kratších stojen o stejném průřezu. Po celé délce nádrže jsou rozmístěné další dva páry nohou, které mají průřez 120x80mm. Jejich orientace je větším průřezovým modulem souhlasně k pohybu sledovaného předmětu, viz obr. 3-1.5.



Obr. 3-1.5 Orientace profilu nožky v řezu

Celková montáž rámu je provedená v laboratoři. Profily byly dovezené kamionem a byl podepsán dodací list. Faktura a vyúčtování je zahrnuté v kapitole 6 Finance. Fotografie z montáže jsou uvedené v příloze 5 a na obr. 3-1.3.

3.2. Skleněná část

Tato část nádrže je zhotovená ze samonosných skel typu VSG, které vyrobila a dodala firma Brilant. Tato skla jsou dlouhá 5500mm a jejich tloušťka 15mm. Jsou slepená na celkovou tloušťku 30mm a mezi nimi je dvoumilimetrová bezpečnostní fólie. Jejich výška je 1000mm. Skla jsou průhledná, aby bylo možné dobře sledovat struktury, které vznikají za taženým předmětem.

Firma Brilant tyto skla dovezla v délce 2750mm a v laboratoři bylo provedeno lepení akvária. Tedy jejich slepení na délku 5500mm a celkové sestavení. Pod skla je ještě vložena OSB deska, kvůli lepšímu rozložení tlaku na skle. OSB deska (Oriented Strand Board) je dřevoštěpková deska¹, která se skládá ze tří vrstev navzájem na sebe kolmých borových štěpek. Tyto vrstvy jsou při určitém tlaku a teplotě spojeny vodovzdornou pryskyřicí. Takto vyrobená OSB deska je pevná, tuhá, odolná proti nárazům a vibracím. Dále má vysoký tepelný odpor a zdravotní nezávadnost [12]. OSB deska je nalepená na rámu pomocí silikonu, z důvodu lepšího umístování skleněných tabulí na rám.

Mezi tuto desku a sklo je vložena polystyrénová deska, kterou dovezla firma Brilant při sestavování skleněné části nádrže. Při sestavování skleněné části se nejdříve položily dvě skleněné desky, které tvořili délku 5500mm obr 3-2.1.

¹ Dřevoštěpková deska – obchodní název, který se pro tyto desky používá. Tyto desky dodala firma MAPH.



Obr. 3-2.1 Spodní část skleněné nádrže

Poté se stavěl zadní bok nádrže. Při tomto vkládání skel se projevila nedostatečná vodorovná poloha. Ačkoli se rám srovnával do vodorovné polohy za pomoci stavěcích šroubů, sledovaná poloha na vodováze vyhovovala. Mezera mezi dvěma dlouhými skly směrem ke dnu zvyšovala. Tudíž bylo zapotřebí srovnat tuto mezeru pomocí stavěcích šroubů. Dále následovalo usazení čelních skel. Nakonec se stavěl druhý bok nádrže. U druhého skla bylo zapotřebí, aby tři skláři stáli v „akváriu“ pro usazení skla. Mezi skly byla vynechávána 2mm mezera pro slepení silikonem, který má zvýšený modul pružnosti, obr. 3-2.2



Obr. 3-2.2 Skleněná část nádrže s OSB deskou, polystyrenem. Zobrazená je mezera mezi čelním a bočním sklem.

Druhý den skláři pokračovali v lepení lišt uvnitř nádrže, které zajistí lepší soudržnost skleněné části a zvýší nepropustnost, obr. 3-2.3.



Obr. 3-2.3 Lepení skelných lišt do rohů nádrže

Pro zvýšení tuhosti skel a menšímu průhybu byla vlepena žebra přibližně 5 cm od vrchního okraje nádrže obr. 3-2.4. Další fotografie z montáže skleněné části jsou vloženy v příloze 6.



Obr. 3-2.4 Lepení žeber pro lepší soudržnost skel

Důvodem zvolení této firmy byla dobrá předchozí spolupráce. Další důvod byl, že firma sídlí v Jablonci nad Nisou, což umožnilo lepší komunikaci a vyřešení technického problému. Také i lepší dopravu k budově laboratoře.

3.3. Pojezd sledovaného předmětu

Pojezd se skládá z lineárního vedení a ze samotné konstrukce pojezdu. Na pojezdu je upevněný sledovaný předmět pomocí různých upínacích prvků. Jedna z variant umístění pojezdu byla na samostatné konstrukci. Výhodou by bylo, že by se nepřenášela nežádoucí chvění do nádrže a následně nedocházelo k chybám měření. Chvění od pohybu motoru by způsobilo nestálost vody v nádrži a tím by bylo ovlivněno celé měření. Tato možnost se však neuskutečnila, jelikož by zde byly nároky na prostor kolem nádrže.

Na konstrukci je z boku připevněná snímací kamera, která snímá záblesky laseru. Laser může být do nádrže umístěn dvěma různými způsoby (realizovaný je způsob 2):

- 1) Laser je připevněný přímo na konstrukci pojezdu
- 2) Laser leží mimo kontrolovanou oblast a jeho paprsek se do nádrže dostává za pomoci zrcadel – jeho odrazem

Při první variantě laser konstrukci zatíží víc. Musel by být dobře připevněný a jeho přívodní kabel by musel být dobře uskladněný (aby nepřekážel). Při variantě č. 2, jsou zrcátka připevněná k pojezdu a za pomoci úhlu odrazu a lomu se laserový paprsek láme přímo do nádrže. Výhodou této možnosti je menší zatížení pojezdu a potažmo i celého rámu zařízení.

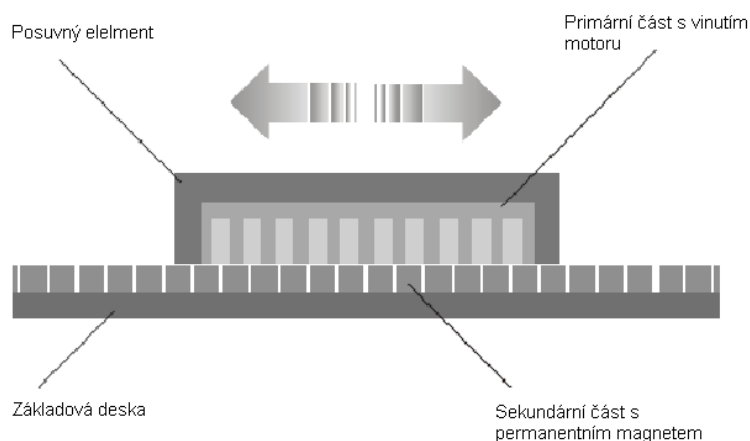
3.3.1 Lineární vedení

Toto lineární vedení slouží k posuvu pojezdu, který je na něm připevněn. Velikost lineárního vedení je vázána na rychlost pojezdu a jeho hmotnost. Na základě toho, že předpokládaná rychlost sledovaného předmětu nebude větší než 10 cm s^{-1} a jeho odhadovaná hmotnost 50 kg, byly na tento požadavek zhotoveny nabídky u dvou firem uvedené v příloze 8.

Lineární vedení je upevněno na vrchní části rámu, na profilech 80x40mm. Posuv musí být plynulý, aby nedocházelo k rozfázování děje a nevznikaly tak nežádoucí chyby měření (např. chyby při vyhodnocování vektorové mapy při

metodě PIV). Jednou z možností, jak zajistit plynulý pojezd, je pomocí ozubeného řemene. Další variantou je za pomoci magnetického pásu. Finanční stránka lineárního vedení je rozepsána v kapitole 6 Finance.

Lineární vedení na principu magnetismu se skládá z magnetického pásu, který by byl připevněný na horní části rámu. Obsahoval by permanentní magnety (sekundární část). Pohyblivá primární část s vinutím motoru by byla nasazená na sekundární části. Pohyb primární části je na principu magnetismu. V primární části se indukuje magnetický tok na základě přivedených impulsů z elektrického proudu. Princip tohoto vedení je zobrazený na obr. 3-3.1.1. Tento pojezd byl jednou z alternativ. Jeho přesnost odměřování polohy byla 0,04mm. Poptávka na toto zařízení byla provedena u firmy Hiwin. Z důvodu finanční náročnosti se tento pojezd neuskutečnil. Cena zařízení byla ve srovnání s ozubeným řemenem přibližně třikrát dražší.



Obr. 3-3.1.1 Princip lineárního motoru

Jinou možností lineárního vedení je pomocí ozubeného řemene. Vratná větev ozubeného řemenu je vedená vnitřkem profilu a tažná větev je vedená vnější stranou profilu. Na této straně vedení je připevněná ložisková jednotka (dále jen vozík) k řemenu, jenž je nasazená na kulatině, obr. 3-3.1.2. Tento vozík je opatřený stíracími krytkami, které zabraňují vniknutí nežádoucích špíny do vnitřku jeho mechanismu.



Obr. 3-3.1.2 Nasazení ložiskové jednotky na lineárním pojezdu (foto firma Ulmer)

Na obou stranách nádrže je realizován stejný princip pojezdu. Druhá rovnoběžná strana pojezdu je propojená za pomoci synchronizační hřídele, aby se zajistila synchronizace obou pojezdů. Lineární vedení je vybavené koncovými dorazy. Pohon ozubeného řemene je zajištěn adaptační hřídelí, na kterou se přes adaptační přírubu či spojku může nasadit jakýkoli elektromotor. Nabídka a následná montáž byla uskutečněná ve firmě Ulmer. Celkový zdvih je 5465mm a maximální teoretická rychlost pojezdu 10 m s^{-1} . Cenová nabídka tohoto vedení byla mnohem menší než nabídka u firmy Hiwin, jak již bylo výše zmíněno. Elektromotor nebyl součástí této nabídky. Fotografie z montáže lineárního vedení jsou uvedené v příloze 7.

3.3.2 Elektromotor

Objednávka elektromotoru se vázala velikostí krouticího momentu, který je na řemenici a na adaptační hřídeli. Dalším požadavkem na elektromotor byla regulovatelnost jeho otáček a potažmo rychlosti pojezdu. Dále velikostí rychlosti pojezdu. Možnosti pohonu byli:

- Krokový motor
- Elektromotor
 - Synchronní
 - Asynchronní

U synchronního motoru by bylo zapotřebí dalšího motoru pro jeho roztočení. Je však přesný a má plynulejší pohyb, než by tomu bylo u asynchronního motoru. Asynchronní motor tedy nepotřebuje žádný další zdroj vnější síly či momentu na jeho roztočení. Je tak tedy finančně méně náročný. Pro řízení otáček je zapotřebí frekvenční měnič.

Na typ pohonu byly oslovené dvě různé firmy. Firma Siemens na asynchronní, reps. synchronní motor i s požadovanou regulací otáček a řídicím programem. Firma JMF na krokový motor, která cenovou nabídku nezaslala. Dále byla oslovena firma UZIMEX, ve které byl objednáán motor s převodovkou a s řízením polohy a rychlosti. Objednávka je přiložená v příloze 8.

Cenová nabídka na asynchronní motor byla provedená u firmy Siemens. Tato firma má i další doplňky k tomuto pohonu. Ovládání motoru mělo dvě možnosti. Jedna z nich je za pomoci datových vstupů, které by byly připojený počítač. Jinou možností je ovládání motoru z řídicích vstupů. Vše záleží na cenové nabídce od firmy. Požadované zrychlení či zpomalení je navrhnuté na $0,025 \text{ ms}^{-2}$ (viz výpočet níže). Na délce 0,4m se pojezd musí rozjet pomalu, bez vznikajících nežádoucích vln až na rychlost $0,1 \text{ ms}^{-1}$.

$$t = \frac{s}{v} = 4s \quad (2)$$

$$a = \frac{v}{t} = 0,025 \text{ ms}^{-2} \quad (3)$$

Kde $s = 0,4\text{m}$ je požadovaná rozjezdová a doběhová dráha

v – maximální rychlost pojezdu, kterou se bude pohybovat

t – čas, za který se pojezd rozjede

Krokový motor je zařízení, které se dá velmi dobře regulovat. Většinou se regulace provádí počítačovým programem. Nejzávažnější nevýhodou je, že motor má nespojitý chod. Další nevýhodou je trvalý odběr proudu, i když se motor netočí. Nepříliš výhodný je také poměr výkonu (krouticího momentu) vůči hmotnosti motoru. Ani cena není ve srovnání s DC motory příliš výhodná. [13]

Základní princip krokového motoru je jednoduchý. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem.

Podle požadovaného krouticího momentu, přesnosti nastavení polohy a přípustného odběru volíme některou z variant řízení. Všechny možnosti jsou popsány v uvedeném odkaze na webové stránky [13]. Kvůli přechodovým magnetickým jevům je omezena rychlost otáčení motoru a to na několik stovek kroků za sekundu (závisí na typu motoru a zatížení). Při překročení této maximální rychlosti (nebo při příliš velké zátěži) motory začínají ztrácet kroky [13].

3.3.3 Konstrukce pojezdu

Konstrukce pojezdu je zhotovená na základě požadavků, které od ní jsou očekávané. Pojezd byl navrhnutý a zhruba propočítaný. Pevnostní výpočet byl návrhový a sloužil pro určení velikosti průřezového modulu a navrhnutí velikosti profilu pro dané namáhání. Více je popsáno v kapitole 4. Pevnostní výpočet. Profil jsem navrhla nejdříve profil řady 5 40x20 2N, natural. Po dohodě s technickým poradcem firmy Ulmer, p. Nemčovským, jsem profil změnila na profil řady 6 30x30mm, který má lepší průřezový modul a je i pevnější. V příloze č. 4 je přiložený výkres pojezdu. Fotografie z ustavení pojezdu na lineární vedení jsou uvedené v příloze 7.

Pojezd se skládal z upevňovací části pro sledovací kameru, na boku tažné nádrže ve tvaru L. Tento profil má automatický posuvný spoj. Z mé strany uživatele již nepotřebuji další úpravy, pro polohování sledovacího zařízení. Výšku sledovací kamery lze tak libovolně nastavit podle hladiny vody v nádrži a podle velikosti sledovaného předmětu.

Další částí je upevňovací zařízení pro sledovaný předmět. Je zhotovené jako trubka, kterou by se dal přivést elektrický proud pro vyhřívání sledovaného předmětu. Tato část je zhotovená z nerezového materiálu, třída oceli 17. Dále je vyrobená z nemagnetického materiálu, aby nedocházelo k nežádoucímu

přepólování motoru či ovlivnění jiných součástí měřicího zařízení. Vzhledem k tomu, že ve vodě bude obsažený chlor a algicidní přípravky, je nutné mít nejen nerezavějící ocel, ale i rezistentní vůči kyselému prostředí. Nejvhodnější je austenitická ocel².

Konstrukce pojezdu je zhotovená tak, aby se na ní mohly připevnit různé předměty a aby byla univerzální pro různá měření. Profilové stavebnicové řady jsou k tomuto účelu nejvíce vhodné. Jejich spojovací prvky jsou šrouby, pro které je nutné vyvrtat závit a do druhého profilu, který se připojuje, vyvrtat díry pro utažení šroubu. Jinou možností spojení je univerzální spoj, kde není potřeba závit v profilu, ale pouze otvor pro utažení daného spoje. Další díly, které mohou být připevněné k pojezdu, jsou zrcátka. Ty slouží k navádění laserového paprsku kolmo do směru snímání rychlostního pole. Přišroubováním laseru k pojezdu by vznikla větší hmotnost. Zrcátka jsou tak mnohem lehčí variantou. Se zvýšením hmotnosti pojezdu by se zvýšila i celková zátěž na motor a na samostatnou konstrukci rámu. Celá tažná nádrž s lineárním vedením a motorem je dimenzována na maximální hmotnost 50kg. Což by měla být dostatečná rezerva. Většinou je váha zatížení okolo 25kg a méně. Do celkové hmotnosti je zahrnutá váha konstrukce pojezdu a veškerého zařízení, které je na něm upnuté.

² Austenitická ocel je nemagnetická ocel třídy 17. Oceli třídy 17 jsou odolné proti korozi a proti chemickým látkám stálé. Odolnost materiálu třídy 17 je daná vyšším obsahem chromu a niklu, popřípadě manganu či jiných legovacích prvků. Tato ocel se používá i pro krytí podmořských kabelů jako jejich ochrana před mořskou vodou.[14]

4. Výpočtová část

V této kapitole jsou popsány veškeré výpočty, které byly zapotřebí k návrhu nádrže a dalších součástí. Je zde také zahrnutý výpočet potřebného momentu na motoru, který pohání pojezd.

Výpočet tažné nádrže se skládá z několika částí:

- Pevnostní výpočet zkušebního rámu se skly – výpočetní program
- Pevnostní výpočet konstrukce pojezdu
- Dynamika pojezdu – zjištění potřebného momentu na motoru

4.1 Pevnostní výpočet rámu a skel

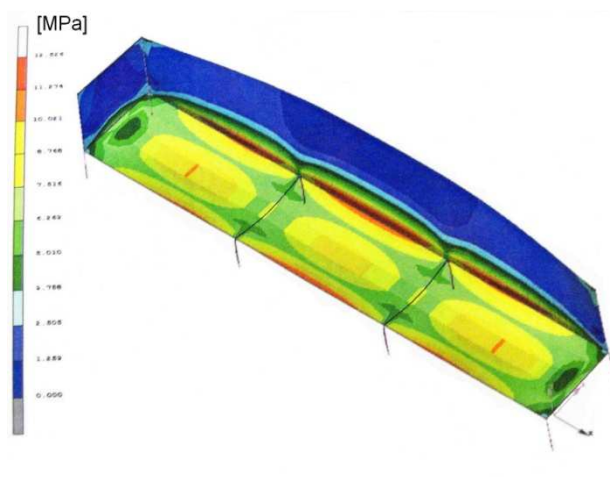
Pro návrh konstrukce je důležitý pevnostní výpočet. Celkový pevnostní výpočet rámu a skel byl spočítán v programu MSC. Marc & MSC. Mentat, který byl realizovaný v rámci projektu 1 [15]. Výpočet průřezového modulu profilu, potažmo zjištění jeho velikosti, bylo spočítané pouze orientačně. Jelikož rám zařízení je uzavřená konstrukce, vznikla tak statická neurčitost soustavy.

Tento výpočet³ byl provedený ve výše zmiňovaném programu, ve kterém se nastavovaly následující hodnoty:

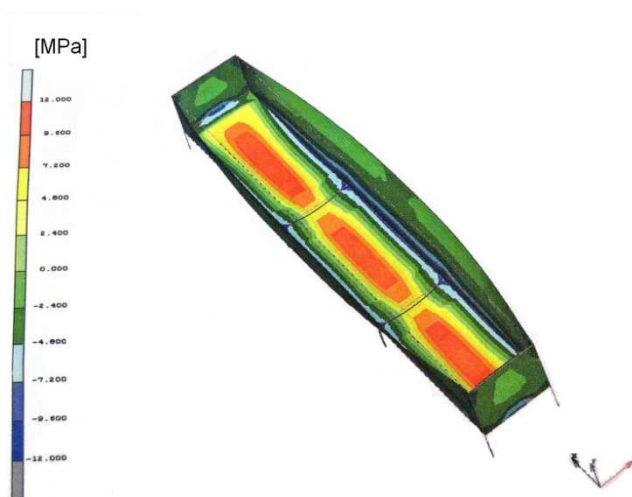
- Velikost profilu – 120x40mm
- Skla o tloušťce 20mm
- Plné zatížení vodou ($\rho_{\text{vody}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$)

Výsledkem bylo vyhodnocení napětí ve sklech a posunutí konstrukce ve směru osy x, které jsou zobrazeny na obr. 4-1.1, 4-1.2, 4-1.3.

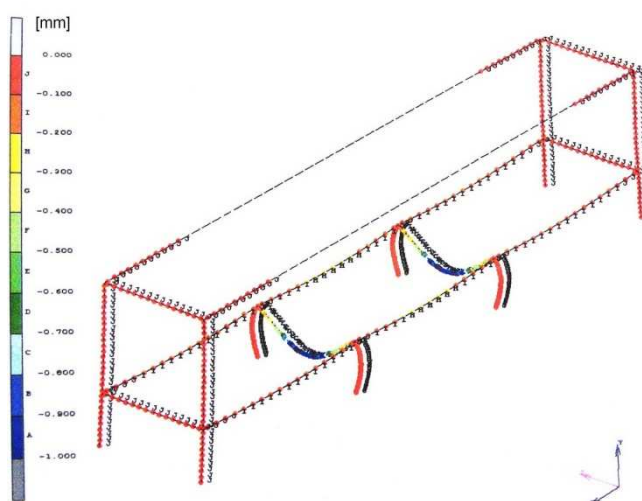
³ Výpočet byl spočítán pro původní návrh z projektu 1, kde délka tažné nádrže byla 6000mm, šířka 1000mm a 1000mm výška.



Obr: 4-1.1 Zobrazení ekvivalentního napětí skel



Obr: 4-1.2 Zobrazení největšího hlavního napětí skel

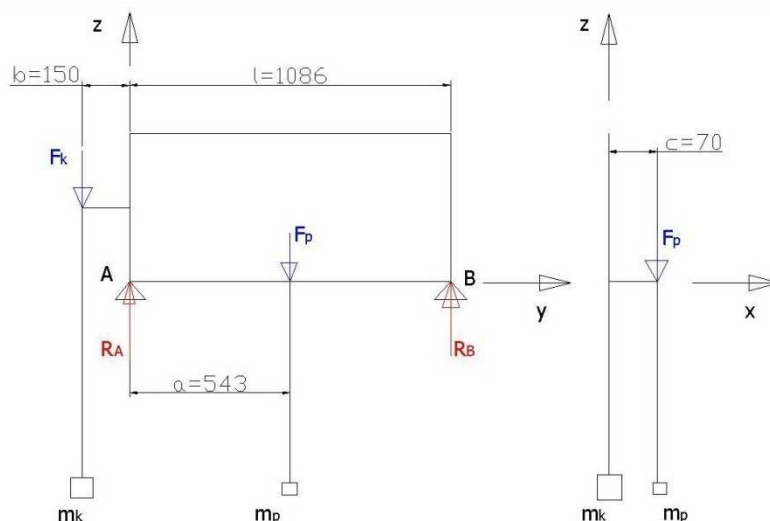


Obr: 4-1.3 Posunutí konstrukce ve směru osy x

4.2 Konstrukce pojezdu

Výpočet konstrukce pojezdu je spočítaný podle principu pružnosti a pevnosti. Tento výpočet je přibližný a relativně zjednodušený. Zjednodušení spočívá v nahrazení rámu nosníkem, na který působí zatěžující síly a jejich momenty. Dále bez uvažování vlastní váhy konstrukce, zejména ramen, které slouží k upevnění předmětu či kamery. Ze zvolených hmotností kamery a sledovaného předmětu jsou spočítané síly, které zatěžují rám pojezdu. Hodnota zatěžujících sil je mírně předdimenzovaná, aby byla zajištěná dostatečná bezpečnost rámu. Na následujícím obrázku je schéma rámu pojezdu s působícími silami. Lineární vedení jsou nahrazená podporami. Počítá se zde pouze se svislou silou. Obr.: 4-2.1.

4.2.1 Výpočet reakcí na rámu



Obr. 4-2.1 Rám pojezdu – výpočet reakcí

m_K – hmotnost sledovací kamery

m_p – hmotnost sledovaného předmětu

g – gravitační zrychlení

a, b, c, l – vzdálenosti uvedené na obr. 4-2.1

Výpočet zatěžujících sil

Síla od sledovaného předmětu

$$F_P = m_P \cdot g = 2,5 \cdot 9,81 = 24,525 N \quad (4)$$

Síla od sledovací kamery

$$F_K = m_K \cdot g = 5 \cdot 9,81 = 49,05 N \quad (5)$$

Moment od sledovaného předmětu v rovině xz

$$M_{P_{xz}} = F_P \cdot c = 24,525 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 1,717 Nm \quad (6)$$

Momenty v rovině yz

$$M_{P_{yz}} = F_P \cdot a = 24,525 \cdot 543 \cdot 10^{-3} = 13,317 Nm \quad (7)$$

$$M_{K_{yz}} = F_K \cdot b = 49,05 \cdot 105 \cdot 10^{-3} = 7,357 Nm \quad (8)$$

Rovnice rovnováhy

$$x: 0 \quad (9)$$

$$y: R_A - F_K - F_P + R_B = 0 \quad (10)$$

$$M: \underline{R_B \cdot l - F_P \cdot a - F_K \cdot b} = 0 \quad (11)$$

Z rovnice (11) plyne neznámá reakce v podpoře B.

$$R_B = 5,488 N$$

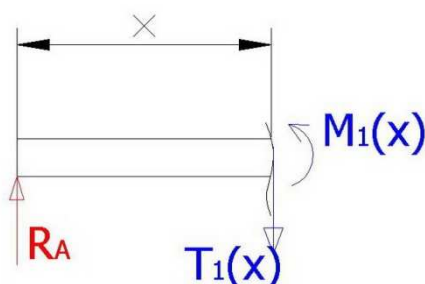
Dále z rovnice (10) lze spočítat reakci v podpoře A.

$$R_A = 68,087 N$$

4.2.2 Výpočet vnitřních statických účinků (VSÚ)

Vnitřní statické účinky vznikají při namáhání nosníku. Slouží k vyšetření ohybového momentu a průběhu tečné síly. Z VSÚ se poté určí maximální ohybový moment. Z toho momentu a dovoleného napětí se následně spočítá odpovídající průřezový modul. Při pevnostních výpočtech nosníku se objevuje ohybový moment. Je způsobený zatěžující silou. Obecně vzato je v místě největšího zatížení také místo největšího momentu. Průběh VSÚ se zakresluje do grafu. Což je závislost hodnoty posouvající síly na vzdálenosti od počáteční podpory, popřípadě vnitřního ohybového momentu na vzdálenosti. Pro můj případ, kde pouze počítám se silou od sledovaného předmětu F_p je posouvající síla konstantní a mění se skokově v místě jejího působení, obr. 4-2.2.1. Je to opět jedno ze zjednodušení, ve kterém uvažuji pouze jednoduchý nosník zatížený svislými silami.

I. VSÚ $x \in \langle 0; 0,543 \rangle$



Obr. 4-2.2.1 Vnitřní statické síly v průřezu I

$$T_1(x) = R_A = 68,087\text{N} \quad (12)$$

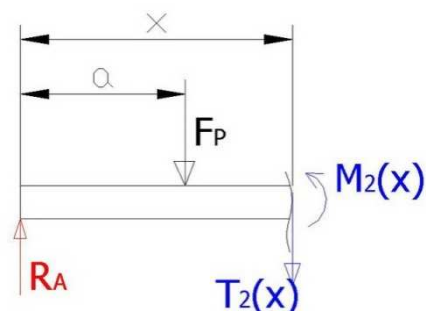
$$M_1(x) = R_A \cdot x \quad (13)$$

Dosazením krajních hodnot do rovnice (13) vyjde moment $M_1(x)$

$$M_1(x = 0) = R_A \cdot 0 = 0\text{Nm}$$

$$M_1(a) = R_A \cdot a = 68,087 \cdot 0,543 = 36,97144\text{Nm}$$

II. VSÚ $x \in \langle 0,543; 1,086 \rangle$



Obr. 4-2.2.2 Vnitřní statické síly v průřezu 2

$$T_2(x) = R_A - F_P = 68,087 - 24,525 = 43,562N \quad (14)$$

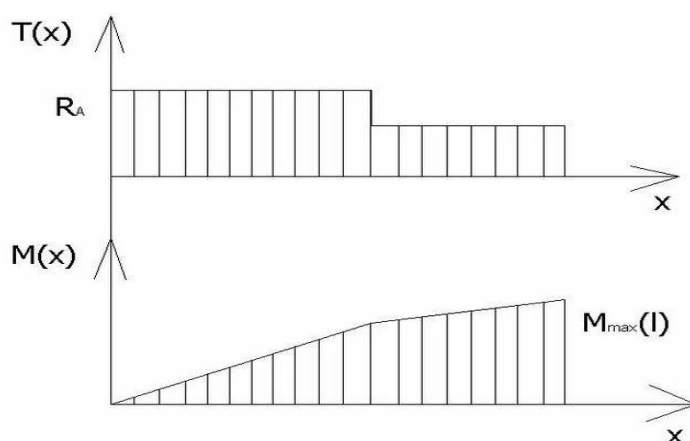
$$M_2(x) = R_A \cdot x - F_P \cdot (x - 0,543) \quad (15)$$

Dosazením do rovnice (15) za x , dostanu velikost momentu $M_2(x)$

$$M_2(x = 0,543) = R_A \cdot 0,543 = 36,97144Nm$$

$$M_2(x = l) = R_A \cdot 1,086 - F_P \cdot (l - 0,543) = 60,6254Nm$$

Z průběhu vyšetřených momentů (obr. 4-2.2.3) je zřejmé, že maximální moment působí v podpoře B. Z tohoto momentu se spočítá průřezový modul.



Obr. 4-2.2.3 Průběh posouvající síly a momentu

Výpočet průřezového modulu

Průřezový modul se počítá z napětí a momentu. Podle výsledné hodnoty průřezového modulu se následně určuje velikost profilu.

Pro ohyb platí rovnice

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (16)$$

M_o – maximální ohybový moment

W_o – průřezový modul

σ_o – napětí v ohybu

σ_{Do} – dovolené napětí v ohybu (zvolené z [14])

Pro návrhový výpočet vyplývá z rovnice (16)

$$W_o \geq \frac{M_{o\max}}{\sigma_{Do}} \quad (17)$$

Z rovnice (17) plyne velikost $W_o = 505,2117 \text{ mm}^3$. Z katalogu firmy Ulmer jsem následně vybrala odpovídající profil. V katalogu⁴ jsou uvedené průřezové moduly v cm^3 , tedy můj průřezový modul $W_o = 0,5052117 \text{ cm}^3$.

Pro tento průřezový modul jsem zvolila profil z řady 5 40x20 2N, natural:

$$W_{ox} = 1,44 \text{ cm}^3$$

$$W_{oy} = 2,61 \text{ cm}^3$$

Jeho zjištěný průhyb z katalogu pro sílu 72,5N (což je součet sil od kamery a sledovaného předmětu) a délku 1086mm je 0,67mm a napětí $\sigma = 7,54 \text{ N/mm}$ [16]. Toto platí pro druhý nosník, který je podepřen pouze zespoda a působící síla je uprostřed, obr. 4-2.2.4.

⁴ Katalog firmy Ulmer na CD. Jsou zde uvedené listy součástí a CAD, dále se zde dá zjistit průhyb zvoleného profilu při požadovaném zatížení.

Product	Info	Documents	Calculator	CAD	Add to List
Profile 5 40x20 2N, natural			Article number: 0.0.437.75		

Belastungsfall 1

$$f = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times I \times 10^4}$$

Belastungsfall 2

$$f = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I \times 10^4}$$

Belastungsfall 3

$$f = \frac{F \times l^3}{192 \times E \times I \times 10^4}$$

To calculate the profile deflection around the Y-axis, please enter the length of the profile

1086,00

 in mm

and the load force acting on it

72,50

Calculate

deflection f_1 incidental 8,49 mm

deflection f_2 incidental 0,67 mm

deflection f_3 incidental 0,13 mm

bending stress σ_1 30,17 N/mm₂

bending stress σ_2 7,54 N/mm₂

bending stress σ_3 3,77 N/mm₂

Obr. 4-2.2.4 Výpočet průhybu z katalogového CD firmy Ulmer, profil 5 40x20 [16]

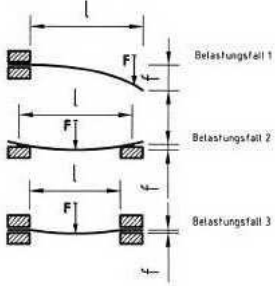
Po dohodě s p. Nemčovským (firma Ulmer) jsem přehodnotila na profil řady 6 30x30 L. Je výhodnější mít čtvercový průřez a jeho únosnost je také vyšší. Jeho průřezové moduly jsou:

$$W_{ox} = 3,69 \text{ cm}^3$$

$$W_{oy} = 7,07 \text{ cm}^3$$

Pro tento profil je průhyb 0,16mm a napětí 2,78Nmm [16], obr. 4-2.2. Opět tyto hodnoty platí pro druhé schéma na obr. 4-2.2.5, kde je nosník podepřený pouze zdola dvěma podporami.

Product	Info	Documents	Calculator	CAD	Add to List
Profile 6 60x30 light, natural			Article number: 0.0.419.07		



Belastungsfall 1

$$f = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times I \times 10^4}$$

Belastungsfall 2

$$f = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I \times 10^4}$$

Belastungsfall 3

$$f = \frac{F \times l^3}{192 \times E \times I \times 10^4}$$

To calculate the profile deflection around the Y-axis, please enter the length of the profile

 in mm

and the load force acting on it

deflection f_1 incidental 2,08 mm

deflection f_2 incidental 0,16 mm

deflection f_3 incidental 0,03 mm

bending stress σ_1 11,14 N/mm²

bending stress σ_2 2,78 N/mm²

bending stress σ_3 1,39 N/mm²

Obr. 4-2.2.5 Výpočet průhybu z katalogového CD firmy Ulmer, profil 6 30x30 L [16]

4.3 Dynamika pojezdu

Dynamika pojezdu pojednává o silách, které působí na pojezd, tedy na lineární vedení. Hlavním úkolem je zjištění potřebného momentu na motoru, který bude lineární vedení pohánět. Na lineárním vedení vzniká tření mezi ložiskovou jednotkou a tyčí, na kterou jsou tyto jednotky nasazené. Respektive mezi kladkami a danou tyčí. V následujícím výpočtu je spočítán potřebný moment pro rozjezd lineárního vedení. Při rozjezdu pojezdu vzniká největší odporová síla, která brání pohybu. Naopak při zabrzdění pojezdu dochází vlivem tření k výraznému zpomalení. Je zapotřebí menší síly na ukončení pohybu.

Výpočet akční síly je uskutečněný za pomoci d'Alembertovy pohybové rovnice (18) popř. (20).

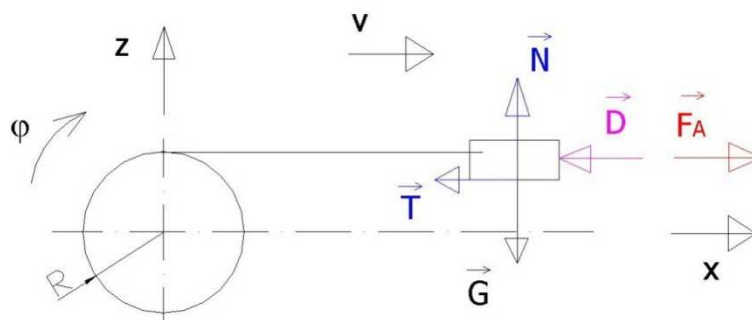
$$\sum_i A_i + \sum_j R_j + D = 0 \quad (18)$$

$$\sum_i A_i + \sum_j R_j = \sum_i F_i \quad \text{Rovnice statické rovnováhy} \quad (19)$$

Dosazením z rovnice (19) do rovnice (18) dostaneme následující rovnici

$$\sum_i F_i + D = 0 \quad (20)$$

Síly, které působí na vozík lineárního vedení, jsou zakreslené v obr. 4-3.1 a zapsané do rovnice rovnováhy (21).



Obr.: 4-3.1 Uvolnění vozíku při rozjezdu lineárního vedení

Rovnice rovnováhy ve vektorovém tvaru

$$\vec{F}_A + \vec{D} + \vec{T} + \vec{N} + \vec{G} = 0 \quad (21)$$

Rovnice (21) rozepsaná do složek

$$x: \vec{F}_A - \vec{T} - \vec{D} = 0 \quad (22)$$

$$y: \vec{N} - \vec{G} = 0 \quad (23)$$

Klasifikace sil

- Třecí síla $T = f_0 \cdot N$ (24)

- Tíhová síla $G = m \cdot g$ (25)

- d'Alembertova síla $D = m \cdot a$ (26)

F_A – akční síla, která je potřebná k rozjezdu pojezdu

N – normálová síla

Výpočet potřebné akční síly

Z rovnice (23) v y-novém směru vyplývá velikost normálové síly

$$N = G = m \cdot g = 50 \cdot 9,81 = 490,5N \quad (27)$$

m – celková hmotnost pojezdu = Hmotnost konstrukce pojezdu + hmotnost sledovacího předmětu + hmotnost sledovací kamery

g – gravitační zrychlení

Z rovnice (22) se vyjádří

$$F_A = T + D \quad (28)$$

Dosazením rovnic (24), (25) a (26) do rovnice pro výpočet akční síly (28) dostaneme

$$F_{A0} = f_0 \cdot N + m \cdot g \quad (29)$$

Kde f_0 – součinitel tření za klidu, za mokra. Z tabulky pro pasivní odpory. Materiál součástí (kladička a tyč), ve kterých vzniká tření, je ocel – ocel [14].

a – zrychlení pojezdu – výpočet viz rovnice (3). Pro tento výpočet jsem zrychlení dvojnásobila.

Z rovnice (29) vychází $F_{A0} = 61,36N$

Výpočet momentu setrvačnosti řemenice

Spočítá se dle rovnice (30)

$$J = \int_{(m)} r^2 dm \quad (30)$$

tedy pro řemenici platí

$$J_z = \frac{1}{2} m_r \cdot R^2 \quad (31)$$

m_f – hmotnost řemenice, odečtená z CD katalogu firmy Ulmer [13]

R – polohový vektor, odpovídá poloměru řemenice

$$J_z = 257,4 \text{ kg mm}^2$$

Výpočet momentu motoru

$$M_m = F_{A0} \cdot R + J_z \cdot \alpha \quad (32)$$

α – úhlové zrychlení

$$\alpha = \frac{a}{R} \quad (33)$$

Do rovnice (31) dosadím za α a J_z z rovnic (30) a (32).

Výsledný moment motoru: $M_m = 1,87 \text{ Nm}$

Podle zaslaných nabídek z firem jsem vybrala nabídku od firmy Uzimex
krokový motor s výkonem 90W, s převodovkou s krouticím momentem 6,0Nm.
Uvedené v příloze 6.

5. Úprava vody

Vodu v tažné nádrži je nutné upravovat chemickými prostředky, které zajistí její čírost při sledování obtékání předmětu. Užitková voda se skládá z minerálů, bakterií a dalších stopových prvků. Při delším stání vody v nádrži dochází díky těmto vlivům k tvorbě řas a mikroorganismů. Minerály, které voda obsahuje, jako jsou ionty Ca^{2+} , Mg^{2+} ve formě rozpustných solí, způsobují tvrdost vody. Vodní kámen vzniká z vápenatých a hořečnatých solí a dochází k jeho usazování na stěnu nádrže. Pro dobré výsledky experimentů je nutné mít dobrou průhlednost vody. Díky mikroorganismům, které voda obsahuje, se dále tvoří řasy, které zanášejí vodu. Těmto nezbednostem se dá předejít různými způsoby. Většinou se tato voda upravuje jako klasická bazénová následujícími metodami:

- 1) Mechanickým odstraňováním nečistot a usazenin
- 2) Chemickou cestou
- 3) Neustálou výměnou vody

5.1 Chemická úprava vody

Voda se upravuje různými chemickými přípravky. Pokud se používají chlorové preparáty, musíme sledovat hodnotu pH, která se pohybuje např. u rodinných bazénů v rozmezí 6,8 – 7,4. Pokud je pH vyšší než 7,6 způsobuje výskyt nepříjemných minerálních zákalů (vysrážení vápníku, železa, hořčíku, manganu), které mohou způsobit ucpání filtru. Při hodnotě menší než 6,8 způsobuje korozi kovových součástí a narušování betonu a blednutí barev povrchu bazénu včetně blednutí fólie [17]. Ačkoli se nedoporučuje, aby hodnota pH byla menší než je udaný rozsah, v naší nádrži by mírně kyselá voda neměla vadit. Jelikož kovové části jsou umístěny mimo vnitřní část. Jediný díl, který zasahuje do vody, je trubka pro připnutí předmětu, která je zhotovená z chemicky odolné oceli. Tyto preparáty na úpravy vody můžeme rozdělit na několik hlavních částí.

- 1) Chlorováním vody – vsypávání chloru do vody dle potřeby. U bazénových vod se musí sledovat pH vody, které by nemělo být menší než 6.
- 2) Aktivním kyslíkem – patří mezi bezchlórové metody.
- 3) Multifunkčními přípravky – baktericidní, folukační a algicidní. Tyto přípravky lze používat v kombinaci s chlorem. Zabraňují tvorbě mikroorganismů.

5.1.1 Chlorování vody

Pro chlorování vody jsou nejběžnějšími prostředky k dezinfekci vody chlorové tablety, granuláty nebo roztoky. Působí nejen na bakterie, viry a plísňe, ale částečně i na řasy. Koncentraci chloru používanou pro soustavnou dezinfekci je nutné udržovat mezi 0,3 – 0,5 mg/l (někdy se udává hodnota v tzv. ppm, 1 mg/l = 1

ppm). Jak již bylo výše zmíněno, u těchto přípravků musíme sledovat pH a 1 – 2krát týdně proměřovat koncentraci chloru [17].

Obecně platí, že pokud klesne koncentrace chloru pod 0,3 mg/l je bezpodmínečně nutné dodat novou dávku chlorového prostředku. Potřeba chlorování se mění v závislosti na hodnotě pH, teplotě vody i vzduchu.

Mezi tyto přípravky lze zařadit i kombinované tablety. Tyto tablety v sobě zahrnují účinek tří různých přípravků. Obsahují chlor pro dezinfekci, přípravek proti řasám a vločkovač k odstranění nečistot [17].

5.1.2 Aktivním kyslíkem

Stejně jako u chlorování vody patří i zde mezi nejpoužívanější prostředky kyslíkové tablety, granuláty nebo roztoky. Působí na bakterie, viry, plísňe, ale také částečně i na řasy. Při užití této metody je koncentrace aktivního kyslíku pro průběžnou desinfekci nutné udržovat na hodnotách mezi 8 – 15 mg/l (ppm). Při ustáleném provozu je doporučené měřit koncentraci aktivního kyslíku 1 – 2 x týdně, kdy se vždy před vlastním měřením musí zkontrolovat případně upravit hodnota pH. Tento prostředek nelze v žádném případě používat v kombinaci s chlorovými přípravky.

Opět je nutné sledovat obsah aktivního kyslíku. Tato hodnota nesmí spadnout pod 8 mg/l [17].

5.1.3 Multifunkční prostředky

Do této kapitoly spadají veškeré ostatní přípravky, které se zabývají úpravou vody proti vodnímu kameni a odstraňováním mikroorganismů, především řas. Ty jsou schopny se přizpůsobit působení chloru během několika dní, zvláště pak pokud se používají dávky nižší než doporučené.

Řasy se mohou dostávat do bazénu pomocí prachu, větru a deště. Jejich tvorbu navíc podporuje sluneční záření a zvýšená teplota. Jelikož je Tažná nádrž umístěna v laboratoři, je pravděpodobný výskyt řas omezen. Laboratoř LDA je

opatřena žaluziemi, které znesnadňují sluneční svit a tím tak i zvýšení teploty v laboratoři. Je zde také po většinu roku stabilní teplota, což je nejpříznivější v létě, kdy jsou velmi teplé dny.

Řasy lze odstranit účinným aglicidním prostředkem nebo šokovým chlorováním, popř. kyslíkem. Před jejich použitím je opět nutné zjistit pH a případně jej upravit. Po ošetření aglicidními přípravky či šokem se nutné ponechat filtrační zařízení v chodu. Po zahubení řas se vždy přidá tekutý vložkovač zjiskřovač či sypký vložkovač., aby se veškeré mrtvé řasy ve vodě vyvločkovaly a odfiltrovaly ve filtru či vysály [17].

Vápenné a jiné minerální usazeniny se odstraňují vložkovači, které na sebe navážou dané minerály a ve filtračním zařízení se následně zachytí. U pískových filtrací se musí pravidelně sledovat na manometru tlak ve filtrační nádobě a v případě potřeby provést zpětný proplach, aby se zachycené řasy a ostatní usazeniny vyplavily a nedošlo k ucpání filtru [17]. Jelikož je Tažná nádrž zhotovená ze skla, je možné ji snadněji udržovat čistou. Pro odstranění vodního kamene, který vzniká při hladině vody, je možné použít železnou vatu. Tato vata je běžně k dostání a sklo nepoškodí.

5.2 *Mechanické odstraňování nečistot*

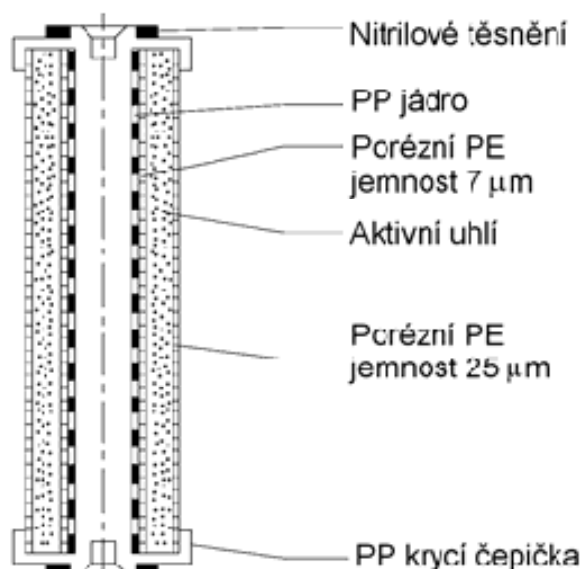
Mechanické odstraňování nečistot je dalším článkem řetězce úpravy vody. Za použití filtračních zařízení lze z vody dobře odfiltrovat i nejmenší částice, které voda obsahuje. Nejčastěji používaným filtračním zařízením je písková filtrace. Jako další zařízení pro filtraci je s aktivním filtrem.

5.2.1 Filtr s aktivním uhlím

Aktivní uhlí slouží pro úpravu různých vod jako pitné vody, užitkové vody, spodní vody. Filtrační elementy s aktivním uhlím se používají k adsorpci⁵ ve vodě rozpustných nečistot ve vztahu k velkému povrchu filtračního materiálu. Těmito

⁵ Adsorpce – zachytávání částic na povrchu adsorpčního materiálu, jako je aktivní uhlí.

nečistotami jsou pachové, chuťové a barvicí látky, jakož i jiné organické látky. Také se filtry s aktivním uhlím používají při odstraňování chlóru a manganistanu draselného [18].

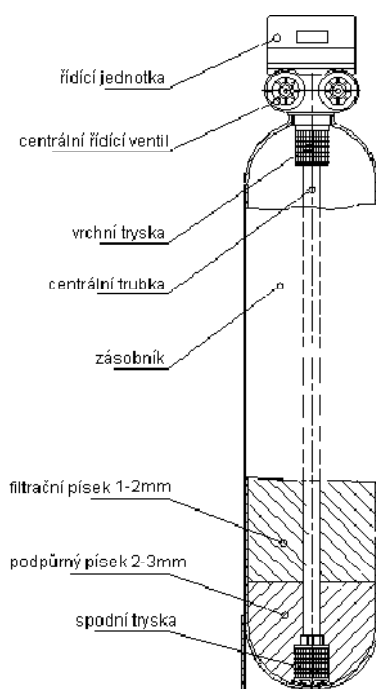


Obr. 5-2.1 Řez filtračním zařízením s aktivním uhlím [18]

Velikost odstraňovaných částecek se pohybuje v setinách až desetínách milimetru. Po zanesení celého filtračního materiálu ztrácí filtr na účinnosti a je nutné ho vyměnit.

5.2.2 Písková filtrace

Tyto filtry jsou používanější při úpravě bazénové vody. Surová voda, která je určená k filtraci, je vedena k horní trysce filtru pomocí centrálního řídicího ventilu řízeného elektricko-hydraulickou řídicí jednotkou. Voda protéká vrstvou filtračního písku, velikost zrna 1 – 2 mm, kde jsou odstraněny částčky nečistot. Filtrát je veden podpůrnou vrstvou písku, o velikosti zrna 2 – 3 mm, ke spodní trysce a poté je z filtru odveden. Přes řídicí ventil se dostane do potrubí filtrátu a ke spotřebiči. Podle množství nečistot ve vodě, musí být u tohoto typu filtru proveden zpětný proplach v odpovídajících okamžicích [19].



Obr. 5-2.2 Pískový filtr [19]

5.2.3 Sítový filtr

Tyto filtry jsou použitelné pro jemnou až hrubou filtraci. Jejich filtrační vložka je zhotovená z perforovaného plechu a tkaniny z různých materiálů a velikostí ok. Sítový filtr může být sestaven samostatně nebo jako dvojitý. Jemnost filtrace bývá u jednoduchých filtrů 80-100 μ m (tkaninová vložka).

Dvojitý filtr DHF 301 je mnohostranně použitelný pro filtraci skoro všech médií. Jeho jemnost filtrace pro tkaninový filtr je v rozmezí 50-300 μ m. Vyznačuje se vysokým výkonem, extrémně nízkou hmotností, kompaktní stavbou, malým nárokem na potřebu místa, lehkou a snadnou čistitelností, jakož i kontinuálním filtračním provozem v průběhu fáze čištění [20].

Napouštění tažné nádrže je provedené za pomoci hadice napojené na vodovod. Voda bude při filtraci poháněná pomocí čerpadla. Čerpadlo, které přečerpává vodu, bude zapnuté většinou přes noc. Návrh čerpadla bude proveden v další práci. Zde bude také objednané filtrační zařízení a další přípravky k úpravě vody.

6. Finance

Kapitola finance zahrnuje veškerý finanční rozpočet objednávaných věcí. U všech produktů byly poptávané cenové návrhy od různých firem. Pro konkrétní řešení jsem se rozhodla z důvodu lepší cenové dostupnosti. V jednom případě firma nereagovala na mou poptávku. Peníze byly poskytnuté z grantu a od děkana strojní fakulty.

Pro výrobu zkušebního rámu jsem se rozhodla pro firmu Ulmer, která sice sídlí v Mokřích Lazcích, ale jako jediní se mnou komunikovali. Tato firma vyrábí stavebnicové díly, lineární vedení a podobné součásti. Firma Ulmer také dodávala pojezd. Cenová nabídka zkušebního rámu zahrnovala řezání profilů na konkrétní délku, řezání závitů, potřebná vrtání, upínací prvky, montáž ve firmě a dopravu. Za zkušební rám se zaplatilo 109 740 Kč, dle nabídky INNE-488-2007, příloha 7. Vyskytl se však problém přenesení celého rámu z nákladního auta do laboratoře. Vzhledem k velké hmotnosti, se rám musel ještě ve firmě Ulmer rozmontovat na lehčí části a poté expedován do laboratoře.

Podkladové desky pod skla – OSB 3 desky, které dodala firma MAPH. V ceně bylo zahrnuto řezání desky na požadovanou šířku 1006mm a doprava k budově, kde je laboratoř umístěná. Jejich cena byla 1 190Kč a jsou zahrnuté v celkových nákladech na zařízení.

Skleněnou část nádrže stavěla firma Brilant s.r.o. Objednávka zahrnovala výrobu skel ve firmě, dopravu a celkovou montáž v laboratoři. Cenová nabídka 225 000 Kč, příloha 7.

Objednávka lineárního vedení byla uskutečněná ve dvou firmách. První objednávka se uskutečnila opět od firmy Ulmer s.r.o. Jejich cenová nabídka zahrnovala montáž lineárního vedení a dopravu do Liberce k budově, kde je laboratoř umístěná. Cena za toho vedení byla 88 395 Kč, dle nabídky INNE-491 – 2007, příloha 7. Druhá firma Hiwin, zhotovila objednávku na lineární vedení na principu magnetického pásu. Cena tohoto zhotovení byla 294 933,72 Kč, příloha 7.

Další objednávka, která byla provedená ve firmě Ulmer s.r.o., se týkala pojezdu. Pojezd je opět zhotovený ze stavebnicových profilů. Jeho cena zahrnovala potřebná vrtání děr a závitů, montáž a dopravu. Cenová nabídka pojezdu byla 6 056 Kč, dle nabídky INNE–176–2008, příloha 7.

Další uvedené cenové nabídky, které se týkaly doobjednávky požadovaných profilů. Tyto se připevňovaly ke zkušebnímu rámu a jsou zobrazené níže v celkové cenové relaci rámu.

Celková cenová relace zkušebního rámu

	Cena zařízení [Kč]	Číslo nabídky, objednávky
Zkušební rám	109 740	INNE – 488 – 2007
Stavitelné nohy	5 985	INNE – 121 – 2008
Profily 120x40mm, délka 980mm	6 071	INNE – 155 – 2008
Profily 120x40mm, délka 926mm	5 182	KEZ – 8 – 2220 – 047
Celkem za zkušební rám	126 978	

Tabulka 1: Celková cenová relace rámu

Cenová relace lineárního vedení

	Cenová nabídka [Kč]	Číslo objednávky, nabídky
Lineární vedení s ozub. řemenem, firma Ulmer	88 395	INNE – 491 – 2007
Motor s odměřováním Uzimex	1418,18CHF = 21 981,79	9401928
Celkem za lineární vedení	110 376,79	

Tabulka 2: Celková cenová relace lineárního vedení i s motorem

Celkové nároky na finance experimentálního zařízení

	Cenová nabídka [Kč]
Celkový rám zařízení	126 978
Lineární vedení s motorem	110 376,79
Skleněná část nádrže	225 000
Pojezd	6 056
OSB 3 deska	1190
Celkem za experimentální zařízení	469 600,79

Tabulka 3: Celková cena za experimentální zařízení

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sestavení experimentálního zařízení pro sledování obtékání těles za různých podmínek. Jako jsou tvary předmětů, izotermní a neizotermní obtékání těles a vznik vírových struktur za tímto tělesem.

V průběhu montáže se vyskytly problémy, které se daly vyřešit avšak na úkor časových prodlev. Při první montáži zkušebního rámu byli zjištěné nedostatky konstrukce. Jedním z vážných problémů byla větší šířka konstrukce, než byla šířka objednaných skel pro skleněnou část. Dané rozměry skleněné části nádrže, 1000mm šířka, 1000mm výška a 5500mm délka jsou vnější rozměry nádrže. Vzhledem k sestavení a slepení skel jsem původně počítala s šířkou vnitřní části 1000mm, ale tento rozměr je vnější. Vznikla vůle 60mm mezi sklem a průběžnou nohou rámu. Z tohoto důvodu jsme byli nuceni veškeré příčky zkrátit o 54mm, jelikož bylo zapotřebí 6mm pro spojovací mezeru mezi skly. Dalšími úpravami bylo přeshroubování stavěcích šroubů na vedlejší nohy, než byly původně. Časová prodleva od prvního sestrojení rámu zařízení až po poslední úpravy a lepení skel byla měsíc a půl. Další prodleva nastala ihned na začátku nového roku, kdy se čekalo na přidělení peněz. Dále jsou zde doručovací lhůty, které v případě rámu byly 4-5 týdnů od doby objednání. V případě skel to byla lhůta okolo čtyř týdnů, kterou jsme záměrně protáhly v rámci konstrukčních úprav rámu zařízení. Platby byly uskutečněny až po dodání dílů.

Přes veškerou časovou tíseň jsem stihla toto experimentální zařízení postavit. Silikon, kterým je slepená skleněná část nádrže má dobu tuhnutí 1mm za 10 hodin, tudíž je celková doba tuhnutí okolo jednoho měsíce. Do této doby se nesmí nádrž napouštět vodou. Je to jediná nevýhoda, která se do odevzdání této diplomové práce nestihla. Dostavba rámu a lineárního vedení s pojezdem je realizovaná.

Předpokládá se, že uvedená úprava vody a experimenty s možností sledování obtékání předmětu budou realizované v další práci na doktorandském

studiu. Dále se ještě musí zařízení doplnit o motor, převodovku a spojku. Mezi převodovku a adaptační hřídel je možné nasadit spojku, z důvodu různých průměrů hřídelí a jako pojistnou spojku proti přetížení.

Sestavené experimentální zařízení je přínosem pro další výzkum 3-D úplavů, které vznikají za obtékaným válcem. Jeho největší předností je snadné pozorování experimentů přes průhledná skla. Prováděné pokusy jsou zde za pomoci vizualizačních metod velmi dobře vidět. Například lze použít fluorescenční metodu, kde barvivo světélkuje při laserových záblescích. Další metodou je použití barviva, které by bylo možné vstříkovat těsně před sledovaný předmět a sledovat tak tvorbu vírových struktur za předmětem. Je možné upínat na pojezdu předměty rozličných tvarů, ale omezených velikostí. Nelze vkládat předmět, který šířkou zabírá více než polovinu nádrže. Úplav by se mohl ovlivnit stěnami nádrže a mohl by dříve zaniknout. Každopádně váha sledovaného předmětu musí být do 25kg, jelikož pojezd a lineární vedení jsou dimenzované na maximální váhu 50kg i s hmotností konstrukce pojezdu a sledovací kamery.

Použitá literatura

- [1] <http://www.marin.nl/web/show/id=45386>
- [2] <http://www.cehipar.es/instalaciones/aguastranquilas/index.php?lang=english>
- [3] <http://www.oceaniccorp.com/CorporateProfile.asp>
- [4] <http://www.oceaniccorp.com/FacilityDetails.asp?id=1>
- [5] <http://www.oceaniccorp.com/FacilityDetails.asp?id=3>
- [6] http://www.iihr.uiowa.edu/facilities/low_speed/index.html
- [7] VÍT, T., Ren, M., Trávníček, Z., Maršík, F.; Rindt, C. C. M.: *The influence of temperature gradient on Strouhal-Reynolds number relationship for water and air*, Experimental Thermal and Fluid Science, Duben 2006, str. 3
- [8] http://www.engr.usask.ca/index.php?cmd=tree_nodeID629
- [9] DEJČ, M. E.: *Technická dynamika plynů*, Praha SNTL, 1967, str. 229-231
- [10] KIEFT, R. N., Rindt, C. C. M., Steehoven van, A. A.: *The wake behaviour behind a heated horizontal cylinder*, Experimental Thermal and Fluid Science, číslo 19, Duben 1999, str. 183-184
- [11] <http://shop.dantecdynamics.com/group.asp?group=29>
- [12] <http://www.stresni-vazniky.cz/osb-desky.html>
- [13] <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [14] LEIVEBER, J., Vávra P.: *Strojnické tabulky*, třetí doplněné vydání, Albra – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006, str. 34; 56; 211 – 213
- [15] LIŠOVÁ, H.: *Projekt 1 – Návrh tažné nádrže*, Technická univerzita v Liberci, 2007
- [16] IKASYS, CD CAD katalog, Ulmer, s.r.o., item Industriechnik GmbH, 2007

- [17] <http://bazenova-chemie.cz/index.php?id=127>
- [18] <http://www.ex-ka.cz/pdf/filtrace/AF-F.pdf>
- [19] http://www.ex-ka.cz/pdf/nove/filtrace/Piskovy_filtrHSF.pdf
- [20] <http://www.ex-ka.cz/pdf/filtrace/FIDHF301.pdf>
- [21] KOPECKÝ, V.: *Experimentální metody v mechanice tekutin, bezkontaktní metody měření – přednášky*
- [22] SCHEJBALOVÁ, H.: *Obecná a analytická chemie - přednášky*

Seznam příloh

Příloha 1 – Statický výpočet a zpráva statika	
Příloha 2 – Výkres sestavení experimentálního zařízení A2-KEZ-08-01/00	
Příloha 3 – Výkres sestavení zkušebního rámu	A2-KEZ-08-02/00
Příloha 4 – Výkres pojezdu	A2-KEZ-08-01/01
Příloha 5 – Fotodokumentace montáže zkušebního rámu	62
Příloha 6 – Fotodokumentace sestavení a lepení skleněné části	63-65
Příloha 7 – Fotodokumentace montáže pojezdu	66-67
Příloha 8 – Cenové nabídky	68-80



Obr. 5-1 Montáž rámu, levá strana



Obr. 5-2 Montáž rámu, pravá strana



Obr. 5-3 Příčky zkušebního rámu namontované do tvaru T



Obr. 5-4 Sestavený rám s průběžnými nohy



Obr. 5-5 Rám s OSB deskou 1, bez dvou průběžných noh



Obr. 5-6 Rám s OSB deskou 2, bez průběžných noh



Obr. 6-1 Dovezená skla na přenosném rámu



Obr. 6-2 Stavění zadního boku skleněné části



Obr. 6-3 Stavění druhé části zadního boku skleněné části



Obr. 6-4 Stavění levého čela nádrže



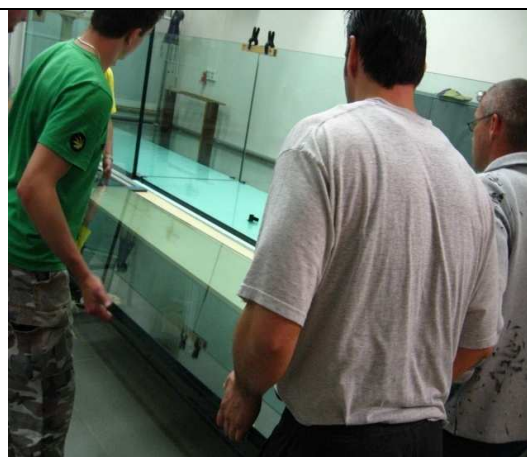
Obr. 6-5 Stavění předního boku nádrže 1



Obr. 6-6 Stavění předního boku nádrže 2



Obr. 6-7 Částečně sestavená skleněná část



Obr. 6-8 Vkládání poslední skleněné části



Obr. 6-9 Stavění poslední skleněné desky nádrže



Obr. 6-10 Zpevňování čela a boků



Obr. 6-11 Sestavená skleněná část nádrže



Obr. 6-12 Slepování skleněných desek pomocí silikonu



Obr. 6-13 Spárování rohu nádrže



Obr. 6-14 Lepení spoje přeplátováním liškou



Obr. 6-15 Lepení podélných lišt



Obr. 6-16 Lepení příčných lišt



Obr. 6-17 Lepení podélných žebër pro lepší únosnost



Obr. 6-18 Lepení prostředního žebra



Obr. 7-1 Přišroubování úhelníku a nohy k rámu



Obr. 7-2 Připevněná vrchní příčka rámu



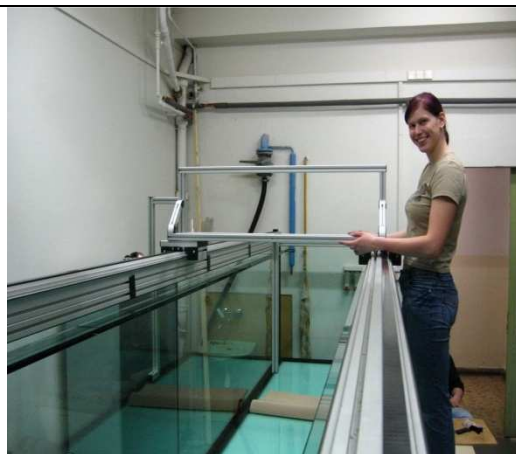
Obr. 7-3 Montáž zadní části lineárního vedení



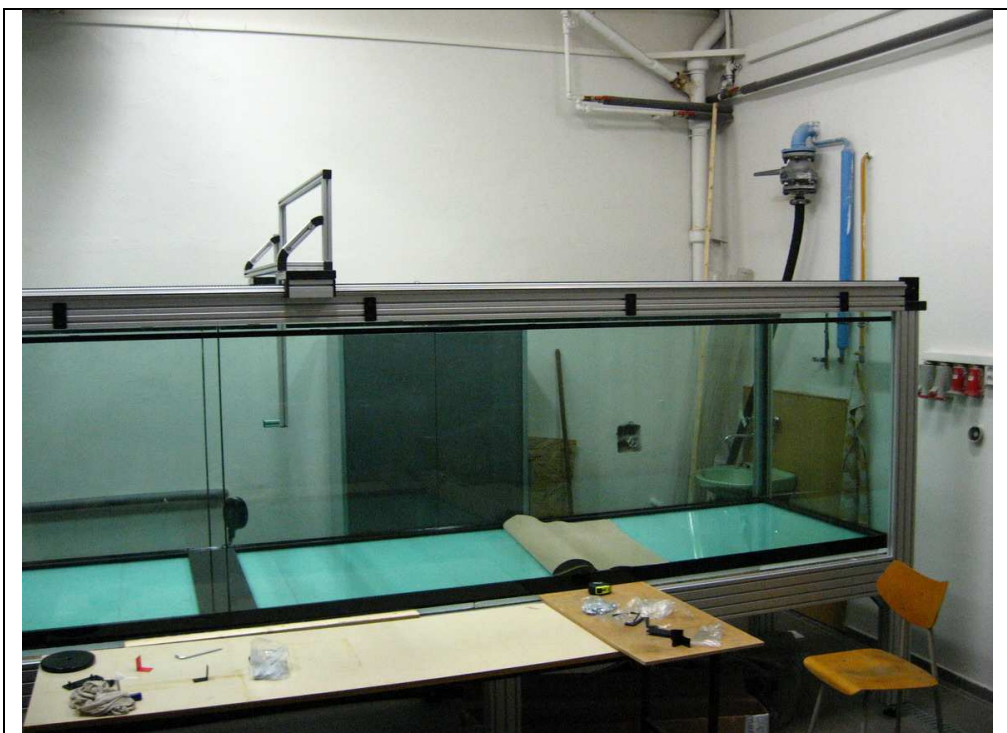
Obr. 7-4 Ustavování přední části lineárního vedení



Obr. 7-5 Stavění konstrukce pojezdu



Obr. 7-6 Sestavené zařízení s konstruktérkou



Obr. 7-7 Celkový pohled na experimentální zařízení



Obr. 7-8 Vrchní pohled na experimentální zařízení se synchronizační tyčí.

Rám zařízení

ULMER s. r. o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group
Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)
Česká republika: Generála Vlachého 305, 747 62 Mokré Lazce
IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava: 101910708/0300
Tel.: 553 757 111, fax: 553 757 101
Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz

ulmer

NABÍDKA č. INNE-488-2007

Strana 1/1

Na objednávce uvádějte prosím, vždy číslo naší nabídky.

FIRMA :	Technická univerzita Liberec
K RUKÁM :	Paní Hana Lisová
TEL., FAX :	+420 774 667 549, hana_lisova@centrum.cz
DATUM :	4.12.2007
ZPRACOVAL :	Libor GINTAR, oddělení konstrukce
POČET STRAN :	1+1

Vážená paní Lisová,

děkujeme Vám za Váš zájem o stavebnicový systém **item** a nabízíme Vám dodávku rámu zkušebního zařízení
Nabídka byla zpracována dle Vašich požadavků.

Technický popis – obsah nabídky :

- Kostra: profily 8 120x40, 120x80, 80x40, 160x80. Rozměry rámu viz. obrázek
- Kompletní sada spojovacích prvků
- Podstava rámu je vyztužena 8ks úhelníků 8 80x80
- Volné konce profilů jsou opatřeny plastovými krytkami
- Předmontáž (řezání, vrtání, řezání závitů)
- Celková montáž ve firmě Ulmer s.r.o.

Cena nabídky 1ks rámu zkušebního zařízení: 109 740,- CZK

V případě objednání rámu pouze s předmontáží bude cena nižší o 8 250,- CZK.

K cenám účtujeme 19% DPH. Součástí ceny je balné a doprava do Liberce.

Dodací termín : 3-4 týdny po obdržení závazné objednávky

Platnost nabídky : 1 měsíc

Ceny jsou platné pro uvedená množství, opracování a navržené technické řešení.

Upozornění: V době od 22.12.2007 do 2.1.2008 je ve firmě Ulmer s.r.o., celozávodní dovolená. V případě, že realizace zakázky případně na tento termín, je nutno počítat s prodloužením realizace zakázky o tuto dobu.

Doufáme, že nabídka odpovídá Vaší představě a těšíme se na další spolupráci.

Budete-li potřebovat další informace, obraťte se prosím na našeho technického poradce

S přátelským pozdravem
Libor GINTAR

Technický poradce:
Ing. Pavel NEMČOVSKÝ

E-mail:
pavel.nemcovsky@ulmer.cz

Tel.:
+420 605 200 702

Fax:
+420 417 531 498

Skleněná část

Vážená slečno Lisová

zasílám Vám nabídku na cenu akvaria níže uvedených rozměrů 600x100x100 cm
šestimetrová deska bude slepena ze dvou třímetrových na základě Vaší domluvy s panem
Kittilem

složení materiálu:	VSG 15/2/15 mm
cena	225.000,- Kč + DPH
lepení na místě:	Liberec
 Platební podmínky.	 50% předem na základě zálohové faktury při objednání zboží 50% při dokončení zakázky

termín: 3-4 týdny

S přáním příjemného dne
Halamová J
483 305 363

Podkladové OSB-3 desky - MAPH

Dodavatel: (IČO) 40231844 MAPH s.r.o. Irkutská 97 46010 Liberec XVIII Karlínky		DAŇOVÝ DOKLAD (FAKTURA) č. 28297 Konstantní symbol: 0008																															
Peněž.ústav: CSOB Č.účtu/kód: 5754303/0300 IBAN CZ28 0300 0000 0000 0575 4303 BIC DIČ: CZ40231844 Středisko:		Odběratel: (IČO) 46747885 Technická univerzita v Liberci Studentská 2 46117 Liberec 1 DIČ: CZ46747885																															
HS-objednávka č./ze dne: KEZ-8-2220-054 Dodací list č.: 28297 Skupina: Způsob dopravy:		Datum splatnosti: 23.05.2008 Forma úhrady: p.p. Datum vystavení: 09.05.2008 Usk.plnění/Přij.platby: 09.05.2008																															
Usti nad Labem Krajský soud oddíl C, vložka 1450																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fakturuje Vám:</th> <th>j.</th> <th>Cena</th> <th>Množství</th> <th>Daň</th> <th>Celkem(Kc)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OSB-3 8*1250*2500+ořezání na š m2 1000mm</td> <td></td> <td>96,00</td> <td>9,3750</td> <td>19%</td> <td>900,00</td> </tr> <tr> <td>Doprava</td> <td></td> <td>100,00</td> <td>1,0000</td> <td>19%</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>Celkem pro základní sazbu 19%</td> <td></td> <td>1000,00</td> <td>+</td> <td>190,00</td> <td>= 1190,00</td> </tr> <tr> <td>Za celkovou cenu s DPH</td> <td></td> <td>1000,00</td> <td>+</td> <td>190,00</td> <td>= 1190,00</td> </tr> </tbody> </table>				Fakturuje Vám:	j.	Cena	Množství	Daň	Celkem(Kc)	OSB-3 8*1250*2500+ořezání na š m2 1000mm		96,00	9,3750	19%	900,00	Doprava		100,00	1,0000	19%	100,00	Celkem pro základní sazbu 19%		1000,00	+	190,00	= 1190,00	Za celkovou cenu s DPH		1000,00	+	190,00	= 1190,00
Fakturuje Vám:	j.	Cena	Množství	Daň	Celkem(Kc)																												
OSB-3 8*1250*2500+ořezání na š m2 1000mm		96,00	9,3750	19%	900,00																												
Doprava		100,00	1,0000	19%	100,00																												
Celkem pro základní sazbu 19%		1000,00	+	190,00	= 1190,00																												
Za celkovou cenu s DPH		1000,00	+	190,00	= 1190,00																												
V případě nedodržení termínu splatnosti jsme nuceni uctovat penále ve výši 0.05 % za každý den prodlení. Kupující nabude vlastnického práva ke zboží teprve úplným zaplacením kupní ceny (dle \$4450Z).																																	
Vystavil: Toneva Tel.: 485164062 Fax: 485163965 Mobil: 603268196 E-mail: maph@volny.cz WWW: www.maph.cz		MAPH s.r.o. Irkutská 97 460 10 LIBEREC XVIII KARLÍNKY IČO 40231844 DIČ CZ40231844 Tel. 485 164 062 Fax 485 163 965																															

Stavěcí šrouby

ULMER s. r. o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group

Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)

Česká republika: Generála Vlachého 305, 747 62 Mokré Lazce

IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava: 101910708/0300

Tel.: 553 757 111, fax: 553 757 101

Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz



NABÍDKA č. INNE-121-2008

Strana 1/1

Na objednávce uvádějte prosím, vždy číslo naší nabídky.

FIRMA :	Technická univerzita v Liberci
K RUKÁM :	p. Hana Lisová
TEL., FAX :	+420 774 667 549, hana_lisova@centrum.cz
DATUM :	17. března 2008
ZPRACOVAL :	Libor Gintar - ULMER s.r.o., oddělení konstrukce
POČET STRAN :	1+1

Vážená paní Lisová,

děkujeme Vám za Váš zájem o stavebnicový systém **item** a nabízíme Vám dodávku stavitelných nožek pro rám INNE-488-2008. Nabídka byla zpracována dle Vašich podkladů.

Technický popis – obsah nabídky:

- Stavitelné nožky D80 M16x100 – 8ks
- Adaptační desky pro nožky se závitem M16 – 8ks
- kompletní sada spojovacích prvků,
- předmontáž (řezání, vrtání, řezání závity),
- celková montáž ve firmě Ulmer s.r.o..

Zatížení celého rámu s ohledem na nosnost nožek je max. 6000 kg.

Cena nabídky doplnění rámu o nožky:

5 985,- CZK

K cenám účtujeme 19% DPH. Součástí ceny není doprava a balné.

Termín expedice: 1 týden po obdržení závazné objednávky.

Platnost nabídky : 1 měsíc.

Ceny a termín expedice jsou platné pro uvedená množství, opracování a navržené technické řešení. V případě objednávky uveďte prosím, kolik kusů objednáváte.

Doufáme, že nabídka odpovídá Vaší představě a těšíme se na další spolupráci.

Budete-li potřebovat další informace, obraťte se prosím na našeho technického poradce.

S přátelským pozdravem

Libor GINTAR

Technický poradce:
Ing. Pavel NEMČOVSKÝ

E-mail:
pavel.nemcovsky@ulmer.cz

Tel.:
+420 605 200 702

Fax:
+420 417 531 498

Doobjednávané příčky, délka 980mm

Ulmer s.r.o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group
Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)
Česká republika: Generála Vlachého 305, 74762 Mokré Lazce
IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava CZK: 101910708/0300
Telefon: +420 553 757 111, fax: +420 553 757 101
Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz

Datum vystavení dokladu: 10.4.2008
Středisko: 100
Sklad:

Technická univerzita v Liberci
Studentská 2
461 17 Liberec I
Česká republika

IČO: 46747885
DIČ: CZ46747885
Číslo zákazníka: 00261
Zákazník: Hana LISOVÁ
Telefon:
Fax:
E-mail: hana.lisova@centrum.cz
Ext. číslo:

ulmer

Nabídka: INNE-155/2008

Strana číslo: 1

Předmět zdanitelného plnění		Množství / j.	Cena za jedn. v CZK bez DPH	Cena celkem bez DPH	Sazba DPH
Nabídka dle Vaší poptávky ze dne 10.4.2008 K rukám: Hana Lisová					
Z27400 0.0.416.29	Profil 8 120x40 Profil 8 120x40-item	1,96 m	1 667,20	3 267,71	19% 12,897 kg
Z13009 C	Řez-C	2 ks	60,00	120,00	19% kg
Z12698 0.0.026.92	Univerzální spoj 8 Universal-Verbindungssatz 8-item	16 ks	53,90	862,40	19% 0,656 kg
Z13019 20x16	Vrtání 15x16 popř.20x16	16 ks	47,00	752,00	19% kg
Podložka M8					
C01736 DIN 9021 pozi	Podložka M8	20 ks	5,00	100,00	19% 0,1 kg

Cena je uvedena bez dopravy a bez balného.

Skladové položky expedujeme do 2 pracovních dnů.

U položek, které nejsou skladem a u všech plošných výplní,
je termín expedice nejpozději 2 týdny od obdržení závazné objednávky.
Pro ověření aktuálního stavu skladových zásob nás prosím kontaktujte.

Doufáme, že nabídka odpovídá Vaší představě a těšíme se na další spolupráci.

Budete-li potřebovat další informace, obraťte se prosím na našeho
technického poradce.

Ceny a expediční termín jsou platné pro uvedená množství, opracování
a navržené technické řešení.

V případě objednávky uveďte prosím, kolik kusů objednáváte.

Celkem: 13,653 kg

Tento doklad má pokračování na stránce č. 2

Ulmer s.r.o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group
Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)
Česká republika: Generála Vlachého 305, 74762 Mokré Lazce
IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava CZK: 101910708/0300
Telefon: +420 553 757 111, fax: +420 553 757 101
Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz

Datum vystavení dokladu: 10.4.2008
Středisko: 100
Sklad:

Technická univerzita v Liberci
Studentská 2
461 17 Liberec I
Česká republika

IČO: 46747885
DIČ: CZ46747885
Číslo zákazníka: 00261
Zákazník: Hana LISOVÁ
Telefon:
Fax:
E-mail: hana.lisova@centrum.cz
Ext. číslo:

ulmer

Nabídka: INNE-155/2008

Strana číslo: 2

Předmět zdanitelného plnění	Množství / j.	Cena za jedn. v CZK bez DPH	Cena celkem bez DPH	Sazba DPH
				Celkem: 13,653 kg

Doobjednávka příčky, délka 926mm



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
461 17 LIBEREC I, Studentská 2



TECHNICKÁ UNIVERZITA v LIBERCI	
IČO: 46747885	Daňové registrační číslo: CZ46747885
OBJEDNÁVKA	
Číslo objednávky: * KEZ – 8 – 2220 - 047	Dodavatel: ULMER s.r.o.
Hradí útvár: KEZ Zakázka: F211	Generála Vlachého 305
Datum: 16.4.2008	Mokré Lazce
Vyřizuje: Hana Lisová	747 62
Finanční zdroj: <input type="checkbox"/> Investice <input checked="" type="checkbox"/> Provoz <input checked="" type="checkbox"/> Rozpočet <input type="checkbox"/> HČ <input type="checkbox"/> Jiný	
Obsah objednávky: Dle vaší nabídky č. INNE-155-2008 objednáváme materiál:	
Z27400 Profil 8 120x40	1,852 m
0.0416.29 Profil 8 120x40-item	2 ks
Z13009 Řez-C	2 ks
Z12698 Univerzální spoj 8	16 ks
0.0.026.92 Universal-verbindungssatz 8-item	
Z13019 Vrtání 15x16 popř. 20x16	16 ks
20x16	
(Na faktuře uveďte prosím, rozpis materiálu a prací.)	
Zboží i fakturu dodejte na adresu: TECHNICKÁ UNIVERZITA v Liberci FS - Katedra energetických zařízení Doc. Ing. Jiří Unger, CSc. Studentská 2 461 17 LIBEREC I	Jméno a podpis zodpovědného pracovníka financujícího útvaru: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA STROJNÍ Katedra energetických zařízení Studentská 2, 461 17 Liberec I Doc. Ing. Jiří Unger, CSc. vedoucí Katedry energetických zařízení
Tel.: 485 35 3411 Fax: 485 353 644	
Dodací lhůta: týden	
Předpokládaná cena: 5.200,- Kč bez DPH	Způsob dopravy: dodavatel
Bankovní spojení: ČSOB Liberec, č. ú. 305806603/0300	
* Na faktuře uvádějte číslo objednávky, jinak nebude faktura proplacena!	

Lineární vedení – Ulmer, s.r.o.

ULMER s. r. o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group

Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)

Česká republika: Generála Vlachého 305, 747 62 Mokré Lazce

IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava: 101910708/0300

Tel.: 553 757 111, fax: 553 757 101

Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz



NABÍDKA č. INNE-491-2007

Strana 1/2

Na objednávce uvádějte prosím, vždy číslo naší nabídky.

FIRMA :	Technická Univerzita Liberec
K RUKÁM :	p. Hana Lisová
TEL., FAX :	+420 774 667 549, hana_lisova@centrum.cz
DATUM :	4.12.2007
ZPRACOVAL :	Libor GINTAR, oddělení konstrukce
POČET STRAN :	2+1

Vážená paní Lisová,

děkujeme Vám za Váš zájem o stavebnicový systém **item** a nabízíme Vám dodávku lineárního vedení 8 D14. Nabídka byla zpracována dle Vašich podkladů.

- Lineární vedení je tvořeno profily 8 80x80, rozměry viz. obrázků
- Pojezdový vozík je tvořen pojezdovými kladkami zabudovanými v hliníkovém profilu. Kladky jsou uloženy přes ložiska na čepích.
- Vozík je vybaven krytkami proti nečistotě
- Spojovacím profilem vozíků je profil 8 160x28, včetně plastových krytek
- Pojezd je tvořen ocelovou kalenou broušenou tyčí D=14 mm+ upevňovací příslušenství
- Mechanická část pohonu je tvořena řemenicemi, ozubeným řemenem šířky 25mm (max.tah v řemeni F=2400 N) včetně příslušenství (držáky a napínáky řemenů),
- Max. teoretická rychlost pojezdu $v = 10\text{m/s}$, max. krouticí moment na řemenici $M=20\text{Nm}$.
Poznámka: při navrhování elektropohonu je nutno vzít v úvahu velikost dynamických sil při rozjezdu a brždění.
- Celková montáž.
- Adaptační hřídel VK 14 a adaptační příruba pro připojení elektropohonu jsou přiloženy - adaptační hřídel a adaptační příruba možno dle potřeby obrobít pro připojení konkrétního typu elektropohonu.
- Pohonné jednotky (motory, převodovky apod.) nejsou součástí nabídky
- Materiál pro spojení lineárního vedení s rámem: 24ks spojovacích desek 0.0.196.86 + spojovací materiál k těmto deskám

Technický poradce:
Ing. Pavel NEMCOVSKÝ

E-mail:
pavel.nemcovsky@ulmer.cz

Tel.:
+420 605 200 702

Fax:
+420 417 531 498

ULMER s. r. o. - člen mezinárodní skupiny Haberkorn Group

Mokré Lazce (ČR) • Nové Mesto nad Váhom (SR) • Wodzisław Śląski (PL)

Česká republika: Generála Vlachého 305, 747 62 Mokré Lazce

IČO: 61947024, DIČ: CZ61947024, ČSOB Opava: 101910708/0300

Tel.: 553 757 111, fax: 553 757 101

Http: www.ulmer.cz, e-mail: ulmer@ulmer.cz



NABÍDKA č. INNE-491-2007

Strana 2/2

Na objednávce uvádějte prosím, vždy číslo naší nabídky.

Cena nabídky dvouosého lineárního vedení: **88 395,- CZK**

Při objednání lineárního vedení bez montáže bude cena nižší o 4 100,- CZK

K cenám účtujeme 19% DPH. Součástí ceny je doprava do Liberce a balné.

Dodací termín : 3-4 týdny po obdržení závazné objednávky

Platnost nabídky : 1 měsíc

Ceny jsou platné pro uvedená množství, opracování a navržené technické řešení.

Upozornění: V době od 22.12.2007 do 2.1.2008 je ve firmě Ulmer s.r.o., celozávodní dovolená. V případě, že realizace zakázky případně na tento termín, je nutno počítat s prodloužením realizace zakázky o tuto dobu.

Doufáme, že nabídka odpovídá Vaší představě a těšíme se na další spolupráci.

Budete-li potřebovat další informace, obraťte se prosím na našeho technického poradce

S přátelským pozdravem

Libor GINTAR

Technický poradce:
Ing. Pavel NEMCOVSKÝ

E-mail:
pavel.nemcovsky@ulmer.cz

Tel.:
+420 605 200 702

Fax:
+420 417 531 498

Lineární vedení – HIWIN, s.r.o.

(tato nabídka nebyla uskutečněná)

NABÍDKA

Dodavatel: HIWIN s.r.o. Kaštanová 34, č.p. 489 62000 Brno tel: +420-548528238 fax: +420-548528238 IČO: 26270722 DIČ: CZ26270722		Doklad číslo: NAB071317 Odběratel: Technická univerzita v Liberci paní Hana Lisová Hájkova 6 Liberec fax: IČO: DIČ:
Datum vystavení: 27.11.2007 Platnost do: 28.12.2007 Vystavil (a): Ing. Martin Kaván Doprava: Platební podmínky: dle pozdější dohody		

Katalogové označení	Název - rozměr	Počet M.J.	Cena za ks (Kč)	Cena celkem (Kč)
8-10-0071	kabel motoru, délka L=8m	1	5 100,00	5 100,00
8-10-0117	kabel encoderu, délka L=8m	1	5 100,00	5 100,00
SINAMICS S120	- otevřený konec frekvenční měnič S120 - s Profibus modulem - řídicí jednotka CU310 DP - výkonová jednotka PM340 2,2kW - brzdový rezistor - modul pro vyhodnocení zpětné vazby SMC20: sin/cos 1Vpp	1	42 560,00	42 560,00
LMH1LS23-1-5500D1000	lineární osa s lineárním motorem - lineární osa - motor LMS23 - bez zakrytování - max zdvih 5500mm - odměřovací systém: magnetický - přesnost: 0,04mm - koncové snímače polohy: indukční - bez kabel schleppu	1	229 834,00	229 834,00
-----	-----	1	0,00	0,00
HGR15R-5660	Kolejnice vel. 15, typ HGR-R, L-5660mm	1	10 773,00	10 773,00
HGW 15CC Z0H	Přirubový vozík vel. 15, krátký HGW 15CC Z0H	2	783,36	1 566,72

Dodací termín: 5-6 týdnů

V ceně zboží je zahrnuto clo a doprava zboží do sídla firmy HIWIN s.r.o. v Brně.

Cena celkem bez DPH: 294 933,72 Kč

 razítko, podpis

Registrace:
 Firma HIWIN s.r.o. je zapsána v OR Krajského soudu v Brně, oddíl C,
 vložka 41185.

Siemens – měnič Sinamics S120 s motorem 1FK7

(tato nabídka nebyla uskutečněná)

Specifikace komponent

Orientační kurs Kč/€:

25,33

Pozice 1	Parametry sestavy	Počet kusů	Popis	Zákaznická		Ceníková
				Cena/ks	Cena	
				€	€	€
			Servomotor 1FK7 , měnič Sinamics S120 s Profibus komunikací a polohováním přímo v měniči	0,00	0,00	
		1	MICROMASTER 4 AC COMMUTATION CHOKE 200V-480V 3AC 1,9A FOOTPRINT FSA - 11,5MH	43,99	43,99	83,00
		1	MICROMASTER 4 EMC FILTER 380V-480V 3AC 6A FOOTPRINT FSA - CLASS A	42,93	42,93	81,00
		1	SINAMICS S120 POWER MODULE PM340 INPUT: 3AC 380-480V, 50/60HZ OUTPUT: 3AC 1,3A (0,37KW) FRAME SIZE: BLOCKSIZE SIZE FSA INTERNAL AIR COOLING	174,20	174,20	268,00
		1	1FK7032 SYNCHRONOUS SERVOMOTOR, 1FK7 COMPACT, 1,1 NM, 100 K, 6000 RPM, NATURAL COOLING, IM B5 (IM V1, IM V3) POWER/SIGNAL CONNECTORS CONNECTOR CAN BE ROTATED BY 270 DEGR. INCREMENTAL ENCODER 2048 P/REV (ENCODER I-2048) WITH DRIVE-CLIQ INTERFACE: PLAIN SHAFT, TOLERANCE N: W/O HOLDING BRAKE DEGREE OF PROTECTION IP64; PAINT FINISH RAL7016 V42: ALPHA PLANETARY GEARING, 1 STAGE, 1 -10, WITH FITTED KEY	897,98	897,98	1 361,50
		1	6SL3040 SINAMICS CONTROL UNIT CU310 DP WITH PROFIBUS INTERFACE WITHOUT COMPACTFLASH CARD	386,10	386,10	584,00
		1	6SL3054 SINAMICS S120 COMPACTFLASH CARD W/O PERFORMANCE EXTENSION INCLUDING CERTIFICATE OF IICFNCF V2.05	47,97	47,97	73,80
				0,00	0,00	
Celková cena pozice:				1 593,17		
Orientační cena v Kč:				40 354,87		

Pozice 2	Parametry sestavy	Počet kusů	Popis	Zákaznická		Ceníková
				Cena/ks	Cena	
				€	€	€
			kabely k servomotoru v délce 5m	0,00	0,00	
				0,00	0,00	
		1	6FX5002 POWER CABLE, PREASSEMBLED 4X1,5+(2X1,5) C; CONNECTOR SIZE 0.5 (1FK7 AH20 TO POWER MODULES AND AC/AC DRIVES) UL/CSA DESINA, MOTION-CONNECT 500 DMAX=10,8 MM, LENGTH (M) = 0 & 0 & 5 & 0	50,95	50,95	78,38
		1	6FX5002 SIGNAL CABLE PREASSEMBLED (ABSOLUTE ENCODER IN THE MOTOR AH20) 3X2X0,14+4X0,14+2X0,5+4X0,22C WITH I M17 CONNECTOR UL/CSA DESINA MOTION CONNECT 500 DMAX = 9,9MM LENGTH (M)= 0 & 0 & 5 & 0	61,95	61,95	95,33
				0,00	0,00	
				0,00	0,00	
Celková cena pozice:				112,91		
Orientační cena v Kč:				2 860,05		

Siemens – asynchronní motor s měničem MM 440

(tato nabídka nebyla uskutečněná)

Specifikace komponent

Orientační kurs Kč/€:

25,33

Pozice 1	Parametry sestavy	Počet kusů	typ	Popis	Zákaznická		Ceníková Cena/ks
					Cena/ks	Cena	
					€	€	€
					0,00	0,00	
		1	6SE6400	MICROMASTER 4 AC COMMUTATION CHOKE 200V-480V 3AC 1,9A FOOTPRINT FSA - 11.5MH	43,99	43,99	83,00
		1	6SE6400	MICROMASTER 4 EMC FILTER 380V-480V 3AC 6A FOOTPRINT FSA - CLASS A	42,93	42,93	81,00
		1	6SE6440	MICROMASTER 440 WITHOUT FILTER 3AC 380-480 V +10/-10% 47-63 HZ CONSTANT TORQUE POWER 0.37 KW OVERLOAD 150% 60 S, 200% 3 S SQUARED TORQUE POWER 0.37 KW 173 X 73 X 149 (H X W X D) PROTECTION IP20 AMBIENT TEMP. -10 TO +50 DEG. C WITHOUT AOP/BOP	298,35	298,35	459,00
		1	2KJ1100	HELICAL GEARED MOTOR Z18-LA71 SOLID SHAFT V16 X 28 U. STD. 50HZ FOOT DESIGN RATIO: 29.45 D04=MOUNTING POSITION B3 G19=BEARINGS NORMAL G22=SEALING STANDARD G33=OIL PLUG G43=WITHOUT BREATHER G52=OIL DRAIN PLUG NON MAGNETIC G58=WITHOUT COVER FOR HOLLOW SHAFT K01=DEGREE OF PROTECTION IP55 K06=OIL CLP VG220 L03=LACQUER N716.16 L50=RAL 5015 SKY BLUE M55=TERMINAL BOX POS. 1A	150,75	150,75	335,00
		1	6SE6400	MICROMASTER 4 BASIC OPERATOR PANEL (BOP)	22,75	22,75	35,00
					0,00	0,00	
Celková cena pozice:						558,77	
Orientační cena v Kč:						14 153,64	

Motor – Uzimex

UZIMEX Pohony, lineární a měřicí technika		NABÍDKA č.: 9401928 Žádáme Vás, abyste na objednávce uváděl číslo této nabídky
Dodavatel: UZIMEX PRAHA, spol. s r.o. Na Cejně 5 150 00 Praha 5 Česká republika IČO: 44849940 DIČ: CZ44849940 Internet: www.uzimex.cz e-mail: paha@uzimex.cz		Odběratel: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní Studentská 2 461 17 Liberec 1 Česká republika K rukám: Ing. Tomáš Vít, Ph.D. Fax: +420-48 535 3644 Tel.: +420-48 535 3406
Bankovní spojení: HVB Bank Číslo účtu: 502192-022/2700 IBAN: CZ7327000000000502192022		Vypracoval: Endler Patrik Fax: +420-489 202 970 Tel.: +420-489 202 971

Společnost je zapsána v Obchodním rejstříku vedeném Krajským obchodním soudem v Praze, oddíl C, vložka 5983

Produkt / název popis	Termín	Množství	Jednotka	Jedn.cena CHF	Celkem CHF
TUL_KEZ_2008_04_02 / Pohon RE 35 + GP 32 C + MR 323890 - Motor RE35, GB, 90 W, KL, 2WE, 24V 166939 - Převodovka GP 32 C, 6.0Nm, 3St, KL, 51:1, keramika 228452 - Inkrementální snímač MR, typ L, 500 imp./ot., 3 kanály, LD		1 ks		758,04	758,04
275512 / EPOS 24/5 Řízení rychlosti i polohy EPOS 24/5, pro DC a EC motory		1 ks		594,55	594,55
276248 / EPOS sada konektorů EPOS konektory k EPOS (P)24/5 a EPOS70/10		1 ks		26,81	26,81
275900 / EPOS RS 232-COM Kabel EPOS RS 232-COM Kabel k EPOS 24/1 (302287), EPOS 24/5 (275512) a EPOS70/10 (300583). Délka 3m		1 ks		38,78	38,78

Cena celkem bez DPH:
1 418,18 CHF

Kupní cena:

Platí za podmínky FCO UZIMEX PRAHA, spol. s r.o., při zaslání poštou bude připočteno balné a poštovné dle skutečných nákladů. Součástí uvedené ceny není DPH 19%.

Platební podmínky:

Kupní cena včetně 19% DPH bude kupujícím hrazena v Kč při použití kurzu deviza prodej stanoveným HVB CZ, a.s., tj. bankou prodávajícího. Kurz je rozhodný ke dni vystavení faktury prodávajícím.
Splatnost faktur se sjednává v délce 14 dní.

Dodací termín: cca 6 KT

V případě objednávky uveďte číslo této nabídky.

Objednávky na nabízené zboží je možno zasílat poštou, faxem či emailem na tyto adresy a čísla:
fax: 226539950, email: paha@uzimex.cz adresa viz sídlo firmy v hlavičce dokumentu.
Kontakt na oddělení logistiky pro konzultace objednávky, termínů a dodávek: paní Kříčková 226539952

V Praze dne: 5.5.2008	Zdraví a na další spolupráci se těší: Endler Patrik	Razítko a podpis:
--------------------------	--	-------------------

Strana č. 1

Příloha 1